

MELHORIA DO PLANEAMENTO PROGRAMAÇÃO E CONTROLO DE PRODUÇÃO (PPCP) DE UMA EMPRESA DE CALÇADO

Eugénio Paulo Da Costa Macedo



Mestrado em Engenharia Mecânica

Gestão Industrial

Departamento de Engenharia Mecânica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

2012

Candidato: Eugénio Paulo Da Costa Macedo, N° 1840045, 1840045@isep.ipp.pt
Orientação científica: Professor Doutor Manuel Pereira Lopes, mpl@isep.ipp.pt



Mestrado em Engenharia Mecânica
Gestão Industrial
Departamento de Engenharia Mecânica
Instituto Superior de Engenharia do Porto
6 de Junho de 2012

Dedico este trabalho à minha família, Fátima e João

Agradecimentos

À minha família, pelo apoio incondicional em todos os momentos, e em particular naqueles de extrema dificuldade.

Ao Professor Doutor Manuel Pereira Lopes, que sabiamente, com enorme empenho, e total dedicação, tornou possível a concretização deste trabalho.

A todo pessoal da Amishoes, e em particular ao Sr. Miguel Teixeira, pela disponibilidade dispensada, facilitando assim, o meu trabalho.

A todos os meus colegas de mestrado que sempre me apoiaram, mesmo nos momentos mais difíceis.

Resumo

Atualmente o sistema produtivo do tipo *job shop* é muito comum nas PMEs (Pequenas e Médias Empresas). Estas empresas trabalham por encomenda. Produzem grande variedade de modelos, e em pequenas quantidades. Os prazos de entrega são um fator de elevada importância, pois os clientes exigem um produto de qualidade no tempo certo.

O presente trabalho, pretende criar uma ferramenta de programação da produção para a secção da costura, usando dados reais da empresa, que tem uma implantação do tipo *job shop* com máquinas multi-operação (*Multi-Purpose -Machines Job Shop*).

No final, são reunidas as principais conclusões e perspetivados futuros desenvolvimentos.

Os resultados obtidos comprovam que o algoritmo desenvolvido, com base no algoritmo de Giffler & Thompson, consegue obter com grande precisão e de forma rápida o escalonamento / balanceamento da secção da costura.

Com a ferramenta criada, a empresa otimiza a programação da secção da costura e fornece informação importante á gestão da produção, possibilitando uma melhoria do planeamento da empresa.

Palavras-Chave

Job shop, Sequencing, Scheduling, Multi-Purpose -Machines Job Shop.

Abstract

Currently the production system *job shop* like is very common in SMEs (Small and Medium Enterprises). These companies work to order. Produce a large variety of models, in small quantities. Delivery times are a key factor of great importance, as the customers demand a quality product on time.

The present work aims to create a programming tool for the seam production section, by using actual data from the company, which has a *job shop* type plant with multi-operation machines (*Multi-Purpose - Machines Job Shop*).

In the end, are brought together the main conclusions and future foreseen developments.

The results show that the algorithm developed, on the basis of the Giffler & Thompson algorithm, proved to achieve very accurately and quickly scaling / balancing of the stitching section.

With the new developed tool, the company optimized the seam programming section and provides important information to the production management, enabling an improvement in the planning of the whole company.

Keywords

Job shop, Sequencing, Scheduling, Multi-Purpose -Machines Job Shop.

Résumé

Actuellement, le système de production de type *job shop* est très courante dans les PME (Petites et Moyennes Entreprises). Ces sociétés travaillent à ordonner. Produit une grande variété de modèles, et en petites quantités. Les délais de livraison sont un facteur de grande importance, parce que les clients exigent un produit de qualité à temps.

Le présent travail vise à créer un outil de programmation pour la section de production de la couture, en utilisant les données réelles de la société, qui dispose d'une mise en œuvre de type *job shop* avec des multi-fonctionnement machines (*Job Shop Multi-Purpose Machines*).

À la fin, sont réunis les principales conclusions et futures développements.

Les résultats montrent que l'algorithme développé sur la base de l'algorithme Giffler &Thompson, réalise très rapidement et avec précision ordonnancement / équilibrage de la section de la couture.

Avec l'ensemble d'outils, l'entreprise optimise la section de programmation de la couture et fournit des informations importantes pour la gestion de la production, permettant une amélioration de la planification de l'entreprise.

Mots-clés

Job shop, Sequencing, Scheduling, Multi-Purpose -Machines Job Shop.

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
RESUME.....	VII
ÍNDICE	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABELAS	XV
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XVI
ACRÓNIMOS.....	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.2. MOTIVAÇÃO	3
1.3. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	3
2. DIAGNÓSTICO À ORGANIZAÇÃO DA EMPRESA.....	5
2.1. INTRODUÇÃO	5
2.2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	6
2.3. A ESTRUTURA DA EMPRESA	6
2.4. CLIENTES E FORNECEDORES	7
2.5. ALGUNS PRODUTOS AMISHOES.....	8
2.6. O PLANEAMENTO PROGRAMAÇÃO E CONTROLO DE PRODUÇÃO	9
2.7. NOTA DE ENCOMENDA.....	10
2.8. GESTÃO DA INFORMAÇÃO DO PRODUTO	11
2.9. CONSTITUINTES DO SAPATO.....	12
2.10. PLANEAMENTO DAS NECESSIDADES DE MATERIAIS.....	12
2.11. PLANEAMENTO DAS NECESSIDADES DE CAPACIDADES.....	14
2.12. PLANEAMENTO DIRETOR DE PRODUÇÃO	14
2.13. LANÇAMENTO DE ORDENS DE FABRICO	15
2.14. MONITORIZAÇÃO E CONTROLO DE PRODUÇÃO.....	15
2.15. GESTÃO DE STOCKS	17
2.16. ANÁLISE DOS DADOS DE PRODUÇÃO	17
2.17. ANÁLISE DOS ATRASOS DAS ENCOMENDAS	20
2.18. A ESTRUTURA DE CUSTOS DA EMPRESA	22
2.19. ANÁLISE SWOT	23

2.20.	COMENTÁRIOS / CONCLUSÕES	23
3.	DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO	25
3.1.	INTRODUÇÃO.....	25
3.2.	DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO	25
4.	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	33
4.1.	RECURSOS	33
4.2.	A GAMA OPERATÓRIA.....	42
4.3.	O BALANCEAMENTO DA SECÇÃO DA COSTURA	42
5.	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	43
5.1.	INTRODUÇÃO.....	43
5.2.	PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO.....	44
5.3.	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	53
5.4.	COMPLEXIDADE DO PROBLEMA	55
6.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	56
7.	IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE DE RESULTADOS	64
7.1.	INTRODUÇÃO.....	64
7.2.	O ALGORITMO DE GIFFLER E THOMPSON	65
7.3.	O PROBLEMA DE TESTE.....	67
8.	CONCLUSÕES	79
	ANEXOS	86
	ANEXO A. LAYOUT DA AMISHOES	87
	ANEXO B. ORGANIGRAMA DA AMISHOES.....	88
	ANEXO C. NOTA DE ENCOMENDA.....	89
	ANEXO D. FICHA TÉCNICA DO PRODUTO	90
	ANEXO E. VALE DE MATERIAL	91
	ANEXO F. GAMA OPERATÓRIA MODELO P02-4382	92
	ANEXO G. NOTA DE FABRICO.....	93
	ANEXO H. RELATÓRIO DIÁRIO DE DEFEITOS	94
	ANEXO I. MAPA DE POSIÇÃO DAS ORDENS DE FABRICO.....	95
	ANEXO J. A ESTRUTURA DE CUSTOS DA EMPRESA	96
	ANEXO K. ANÁLISE SWOT	97
	ANEXO L. LAYOUT COM FLUXO DE PRODUÇÃO	98
	ANEXO M. DIAGRAMA DE PARETO PARA DEFEITOS.....	99
	ANEXO N. ALGORITMO EM VISUAL BASIC	100

Índice de Figuras

Figura 1 - Organigrama da Amishoes	7
Figura 2 – Alguns modelos da Amishoes.....	9
Figura 3-Fases da função Planeamento e Controlo da Produção (Adaptada de Carmo Silva, S., 1994)	10
Figura 4 – Nota de encomenda Amishoes.....	10
Figura 5 – Ficha técnica do produto Amishoes.....	11
Figura 6 – Componentes do sapato (ATALEB, 2009).....	12
Figura 7 – Vale de material Amishoes	13
Figura 8 – Ficha técnica Amishoes	13
Figura 9 – Gama operatória modelo P02-4382 Amishoes	14
Figura 10 – Nota de fabrico Amishoes.....	15
Figura 11- Relatório diário de defeitos Amishoes.....	16
Figura 12 - Mapa de Posição das Ordens de Fabrico Amishoes	16
Figura 13 – Análise SWOT.....	23
Figura 14 – Vista geral da fábrica	26
Figura 15 – Layout com fluxo de produção	27
Figura 16 – Operação de corte a laser	28
Figura 17 – Operação de facear.....	28
Figura 18 – Secção da costura.....	29
Figura 19 – Tapete transportador da costura	29
Figura 20 – Pré-montagem.....	30
Figura 21 – Secção da montagem	31
Figura 22 – Acabamentos e embalagem.....	32
Figura 23 – Diagrama de Pareto Amishoes.....	32
Figura 24 – A distribuidora a identificar a próxima operação.....	34
Figura 25 – A distribuidora a enviar caixa	34
Figura 26 – Postos de trabalho	35
Figura 27 – Sensor STS.....	36
Figura 28 – Sensor STI	36
Figura 29 – O controlo da distribuição.....	37
Figura 30 – Painel com visualização dos postos	38
Figura 31 – Leitor de código de barras tapete inferior	39
Figura 32 – Leitor de código de barras tapete superior	40
Figura 33 – Diagrama Spaghetti para o modelo P02-4382	41

Figura 34 - Gráfico de Gantt orientado para as máquinas (Adaptado de (Brucker P. , 2007))	48
Figura 35– Gráfico de Gantt orientado para os trabalhos (Adaptado de (Brucker P. , 2007))	48

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Fornecedores de matérias-primas.....	8
Tabela 2 – Resumo produção corte	17
Tabela 3 – Resumo produção costura	18
Tabela 4 – Resumo produção da montagem	19
Tabela 5 – Análise estatística dos atrasos em Janeiro	20
Tabela 6 - Análise estatística dos atrasos em Fevereiro.....	21
Tabela 7 - Análise estatística dos atrasos em Março.....	21
Tabela 8 - Dados de entrada nos PTs	69
Tabela 9 - Dados de entrada no Buffer.....	71
Tabela 10 - Lista de eventos.....	72
Tabela 11 - Fila de espera	73
Tabela 12 -Resultados de saída	75

Índice de Gráficos

Gráfico 1 – Produção do corte.....	18
Gráfico 2 – Produção da costura	18
Gráfico 3 – Produção da montagem	19
Gráfico 4 – Atrasos das encomendas em Janeiro	20
Gráfico 5 - Atrasos das encomendas em Fevereiro	20
Gráfico 6 - Atrasos das encomendas em Março	21
Gráfico 7 – Repartição dos gastos e perdas no ano 2010	22
Gráfico 8 - Distribuição de cargas pelos PTs	76

Acrónimos

BB	– Branch and Bound
EDD	– Earliest Due Date
ERP	– Enterprise Resource Planning system
FCFS	– First-Come-First-Serve
GAS	– Generating Active Schedules
GMPPM	– MPM General shop problem
GO	– Gama Operatória
JMPM	– MPM Job shop problem
LB	– Lower Bound
LPT	– Longest Processing Time
LR	– Lagrangian Relaxation
MILP	– Mixed Integer Linear Programming
MPM	– Multi-Purpose –Machines
MRP	– Materials Requirement Planning
OF	– Ordens de Fabrico
PDP	– Planeamento Diretor de Produção
PDRS	– Priority Dispatch Rules
PL	– Programação linear

PNC	– Planeamento das Necessidades de Capacidade
PPA	– Planeamento da produção agregada
PPCP	– Planeamento, Programação e Controlo da Produção
PT	– Posto de Trabalho
SBP	– Shifting Bottleneck Procedure
SEC	– Settling Essential Conflicts
SPT	– Shortest Processing Time
STI	– Sensor Tapete Inferior
STS	– Sensor Tapete Superior
SWOT	– Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats
SWPT	– Shortest Weighted Processing Time
TS	– Tabu Search

1. INTRODUÇÃO

A indústria de calçado é um dos setores mais internacionalizados da economia portuguesa, exportando para a Europa cerca de 96% da sua produção e 4% para o resto do mundo, de acordo com estatísticas da APICCAPS (*Associação Portuguesa das Indústrias de Calçado, Componentes e Artigos de Pele e seus Sucedâneos*) (APICCAPS, 2011). Muitas marcas ligadas ao calçado, de renome internacional, utilizam a indústria portuguesa para a criação dos seus produtos, pois estas apostam na qualidade, na inovação, no *design* e na marca própria.

As empresas para serem competitivas, têm de oferecer ao mercado, um conjunto de alicerces que assentam na elevada qualidade, inovação, *design*, conforto, ambiente e requinte, ao menor custo e com prazos cada vez mais exigentes. Par tal, as indústrias, nomeadamente as de calçado, têm de desenvolver sistemas de produção extremamente flexíveis, que consigam otimizar o escalonamento e balanceamento das linhas de produção.

Cada vez mais as encomendas têm uma dimensão muito pequena, modelos complexos e prazos muito curtos, principalmente quando as empresas fabricam para clientes ligados à moda. Esta situação vai criar dificuldades acrescidas ao correto planeamento da produção.

Para balancear uma linha de produção, esta tem de ter uma distribuição equilibrada das operações pelos postos de trabalho, para que o tempo total desperdiçado seja o menor possível, diminuindo assim, os custos operacionais das empresas.

Apesar de uma grande taxa de exportação, as empresas portuguesas ainda têm problemas de organização no sistema produtivo, no planeamento e controlo da produção, e em muitos outros campos. A empresa Amishoes, situada em Guimarães, é um desses casos.

Na parte produtiva da empresa existem 6 secções principais: Corte, Pré-costura, Costura, Pré-montagem, Montagem e Acabamentos.

Depois de realizado um diagnóstico à empresa, verificou-se que o gargalo de produção é a secção da costura, e que os atrasos provocados por este estrangulamento eram, em grande medida, devidos a problemas de programação da produção.

Esta dissertação surgiu com o intuito de criar uma ferramenta de programação da produção, que melhorasse o processo de programação da produção da secção da costura facilitando ou mesmo eliminando a intervenção humana na distribuição dos lotes pelos postos de trabalho, garantindo, simultaneamente, um melhor balanceamento de cargas nos postos de trabalho e a minimização dos atrasos através de uma correta priorização dos lotes.

1.1. OBJETIVOS

Este projeto surgiu após a realização de um diagnóstico ao setor produtivo da empresa, onde se verificou que a secção que causava o estrangulamento da produção era a costura, que por sua vez dependia demasiado de uma ou duas distribuidoras de trabalho. Embora a empresa tenha como objetivo para este sector, o rendimento de 95 %, o mais usual é, conseguirem-se rendimentos na ordem dos 65%.

Para tal, foi considerado importante criar uma ferramenta de programação da produção para a secção da costura, que melhorasse o processo de Planeamento, Programação e Controlo da Produção (*PPCP*) da empresa.

Foi estabelecido com a empresa, que a ferramenta de programação da produção deveria ter a capacidade não só de dar uma sequência lógica às operações, de acordo com a gama operatória, distribuindo as caixas (lotes) pelos postos de trabalho, mas também tivesse em consideração o planeamento global da empresa, tal como datas de entrega e urgências.

1.2. MOTIVAÇÃO

A motivação para a realização deste trabalho advém do contacto estabelecido com a empresa de calçado Amishoes, que faz parte de uma nova geração de indústrias de calçado, preocupadas com a responsabilidade social e o seu desenvolvimento sustentável.

A execução deste trabalho tem também como fator motivador, a possibilidade de através de uma melhoria na produtividade da empresa, contribuir para uma maior competitividade, contribuindo, simultaneamente, de forma favorável para a economia do país.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

No capítulo 1 é feita uma breve introdução ao problema proposto para estudo, assim como também se definem os objetivos a atingir.

No capítulo 2 é apresentado um diagnóstico à organização da empresa, que servirá de base para o caso de estudo.

No capítulo 3 faz-se uma abordagem geral ao sistema produtivo, assim como a sua descrição e análise.

No capítulo 4 descreve-se com pormenor o problema real. Sendo a secção da costura a mais crítica do ponto de vista de aproveitamento da mão-de-obra, será o nosso objeto de estudo.

No capítulo 5 procede-se ao enquadramento dos problemas de *scheduling* (programação) no planeamento da produção em sistemas de produção do tipo *job-shop* com máquinas multi-operação. É feita uma abordagem aos problemas de programação, seguida da classificação deste tipo de problemas, e é proposta uma notação matemática. Em seguida é apresentada a definição do problema de *job-shop* com máquinas multi-operação, e por último, aborda-se a complexidade deste problema.

No capítulo 6 é feita uma breve revisão bibliográfica do problema de *job shop* com máquinas multi-operação (*Multi-Purpose -Machines Job Shop*).

No capítulo 7 é apresentado o estudo proposto como solução para o problema, utilizando como base o algoritmo de Giffler e Thompson desenvolvido num ambiente do EXCEL.

Utilizam-se dados reais da empresa para resolver o problema de teste e, analisam-se os resultados obtidos.

No último capítulo, o 8º, são reunidas as principais conclusões e perspectivas futuros desenvolvimentos.

2. DIAGNÓSTICO À ORGANIZAÇÃO DA EMPRESA

Neste capítulo é feito um diagnóstico à organização da empresa, que servirá de base para o caso de estudo.

Este diagnóstico foi realizado durante os meses de Abril e Maio de 2011.

2.1. INTRODUÇÃO

A Amishoes nasceu a 2 de Abril de 2002, fazendo parte de uma nova geração de indústrias de calçado já muito mais preocupadas com a responsabilidade social e o seu desenvolvimento sustentável.

Para oferecer ao mercado um conjunto de alicerces que assentam na qualidade, inovação, *design*, conforto, ambiente e requinte, a Amishoes, iniciou em 2007 um programa de formação profissional e cívica que teve por objetivo o aprofundamento de conhecimentos, oferecendo um futuro mais sólido a quem trabalha na empresa, acreditando que a

formação, o trabalho em equipa, e a motivação interna, constituem fatores de sucesso da empresa.

A Amishoes acredita que o crescimento sustentado se faz aliando conhecimento e diferentes perspetivas, como soma de oportunidades, complementando-se.

2.2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Nome da Empresa: AMISHOES – CALÇADOS, LDA.

Endereço: Rua da Ponte, Pavilhão N° 1, 4800-518, Guimarães – Portugal

Website: www.amishoes.pt

Tel.: (+351) 253 479 040

Email: geral@amishoes.pt

Volume médio mensal de produção por linha de produtos: 11.000 pares de calçado.

O volume de negócios da Amishoes em 2010 foi de 3.497.205 €.

O número de funcionários é de 99 pessoas, trabalhando no turno normal.

2.3. A ESTRUTURA DA EMPRESA

A Amishoes está dividida em seis departamentos (como podemos verificar pela figura 1):

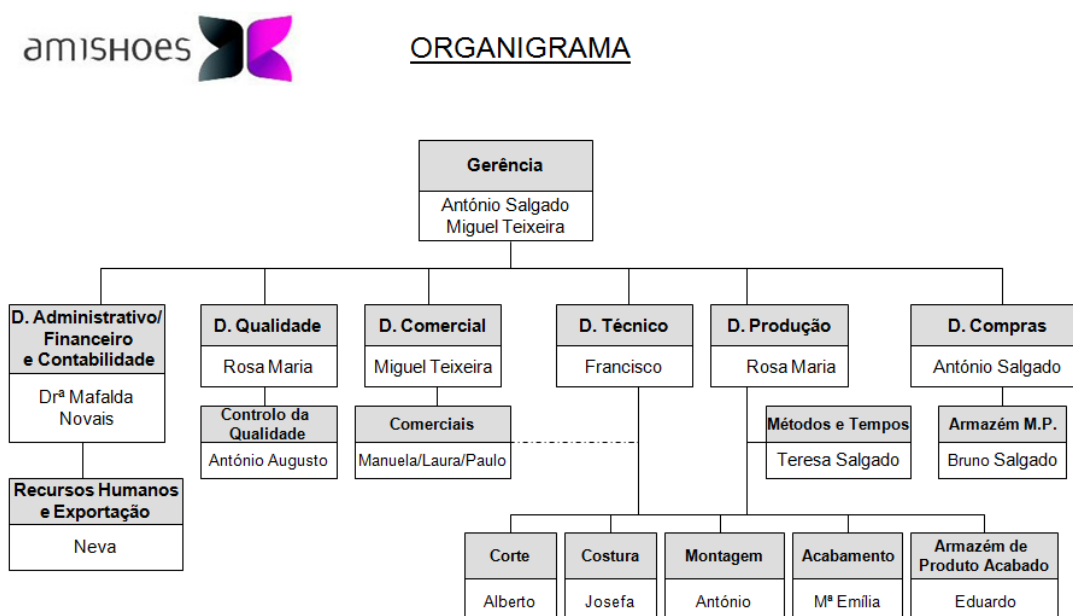


Figura 1 - Organigrama da Amishoes

No Departamento Administrativo/Financeiro e Contabilístico é feito todo o custeio da empresa.

É no Departamento de Qualidade que é feito um controlo dos defeitos, através da análise dos relatórios diários de defeitos e posteriormente dos Diagramas de Pareto realizados mensalmente.

O Departamento Comercial é o responsável pelo contacto com os clientes, por exemplo para negociações do prazo de entrega.

No Departamento Técnico define-se o *design* do produto, os materiais constituintes do produto e as operações necessárias para o seu fabrico, tendo em conta todas as especificações dos clientes.

O Departamento de Produção é responsável pelo Planeamento Programação e Controlo da Produção (*PPCP*), ou seja, o Planeamento Diretor de Produção, os Lançamentos de Ordens de Produção, o Planeamento diretor de Capacidade assim como todas as outras funções referentes ao *PPCP*.

As encomendas de matérias-primas e consequente contacto com fornecedores são efetuados pelo Departamento de Compras.

2.4. CLIENTES E FORNECEDORES

A Amishoes exporta cerca de 75% da sua produção para os principais países da União Europeia e a restante destina-se a clientes nacionais. A sua produção anual é, em média, de 121.000 pares. No entanto, esta não é uniformemente repartida por todos os meses, devido à sazonalidade da procura. Os picos da procura encontram-se entre os meses de Maio e Outubro.

A empresa produz somente por encomenda tendo como clientes fixos, por exemplo:

- Eram e Plagio – França;
- Gudrun e Tiggers – Alemanha;
- Nolifer – Portugal;

- Privata – Espanha;
- Tango e Shofater – Holanda.

Quanto aos fornecedores, a Amishoes elege-os com base no preço das matérias-primas, possuindo portanto, já alguns fornecedores fixos. No entanto, alguns clientes estipulam os fornecedores onde a empresa deve adquirir as matérias-primas. A Tabela 1 apresenta os fornecedores habituais de cada tipo de matéria-prima.

Tabela 1 - Fornecedores de matérias-primas

Solas	Boblex
	Itaflex
Peles	Sicapel
	Valpiele
	Blastroto
Palmilhas	Aglomex
Forros, fechos, telas e linhas	Pires e Fernandes
Ilhós e fivelas	DarCunha
Cordões	Miranda Azevedo
Caixa sapatos	Cartonagem Cardoso
Embalagem	Martins
	JPZ

2.5. ALGUNS PRODUTOS AMISHOES

A empresa Amishoes produz e comercializa variados tipos de calçados, quer para senhora, homem ou criança.

Na Figura 2 apresentam-se alguns modelos de sapatos produzidos na empresa.



Figura 2 – Alguns modelos da Amishoes

2.6. O PLANEAMENTO PROGRAMAÇÃO E CONTROLO DE PRODUÇÃO

O Planeamento Programação e Controlo de Produção, é usualmente referido apenas como Planeamento e Controlo de Produção (*PCP*).

O *PCP* pode ser definido em quatro níveis – Figura 3. No primeiro nível integram-se, paralelamente, o planeamento da produção agregada (*PPA*) e planeamento agregado de capacidade/planeamento de recursos. Este nível do *PCP* reflete a estratégia da empresa em relação ao futuro, em que o objetivo é preservar uma capacidade competitiva assegurando a utilização eficaz dos recursos de produção.

O planeamento diretor de produção (*PDP*) insere-se no nível seguinte e é usado essencialmente para o médio prazo. Os resultados deste planeamento são planos diretores de produção que indicam a quantidade a produzir de um produto específico num certo horizonte de tempo. É neste nível que ocorre a transformação das encomendas em ordens de produção. Paralelamente ao *PDP* tem-se o planeamento da capacidade crítica que tem como objetivo verificar a existência ou não de capacidade para satisfazer o que está estabelecido no *PDP*. No terceiro nível tem-se um conjunto de funções do *PCP* que têm como objetivo fazer o planeamento das necessidades materiais (*MRP*). O *MRP* determina planos, período a período, para todos os componentes e matérias-primas necessárias. No último nível tem-se a monitorização e controlo da produção (Carmo Silva, 1994)

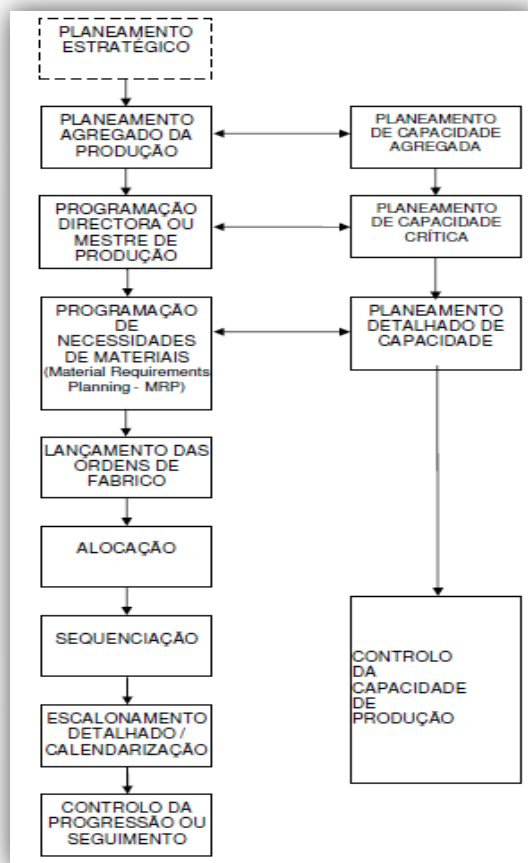


Figura 3-Fases da função Planeamento e Controlo da Produção (Adaptada de Carmo Silva, S., 1994)

2.7. NOTA DE ENCOMENDA

O departamento comercial recebe as encomendas dos clientes, numa Nota de Encomenda, em que está declarado o número de pares, por tamanho, de cada tipo de sapato (Figura 4).

AMISHOES - CALÇADOS, LDA		NOTA DE ENCOMENDA		Página 1 de 1	
Rua da Ponte - Pav. Nº 1 e 2 4800 - 518 PONTE GMR GUMARAES Telef.: + 351 253 479 04 Fax: + 351 253 479 049		Nr. Pedido: 002342 Data Enco: 28-09-2009 Enco Cil Nr: 203165 Estação: V10 Moeda: EUR Data Entrega: 30-10-2009	Nome Cliente: 20053 TIGGERS GMBH Bahnhofstrasse 11 66953 Pirmasers Germany		
Cond. Pagamentos: Bank Transfer 30 Days	Transitário: Transduo-Logistica e Transp.Ld	Meio Transporte: By Truck	Cond. Entrega: EX-WORK	Agente:	
1 P04-3320 23 Cór: BLACK Ref Cil: P04-3320 Cil Desp.: 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 3 6 4 3 2 47 48 Total: 18		Prazo: 30-10-2009 Pede 1: VULCANO 7200 Pede 2: Pede 3: Forro: ANIL PORCO 1014 Sola: NEOLITE 575 Forma: FORMA 0575 Preços:			
2 P09-3530 05 Cór: BLACK Ref Cil: P09-3530 Cil Desp.: 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 1 1 3 3 2 1 1 1 1 47 48 Total: 14		Prazo: 30-10-2009 Pede 1: VULCANO 7200 Pede 2: Pede 3: Forro: ANIL PORCO 1014 Sola: NEOLITE 640 Forma: FORMA 0640 Preços:			

Figura 4 – Nota de encomenda Amishoes

É a partir destes dados que a empresa inicia o planeamento da produção, onde se inserem funções do *PCP* como o Planeamento de Necessidades de Materiais, o Planeamento de Necessidades de Capacidade, o Planeamento Diretor da Produção e o Lançamento das Ordens de Fabrico, que serão analisados de seguida. Após esta etapa inicia-se a gestão de informação do produto.

2.8. GESTÃO DA INFORMAÇÃO DO PRODUTO

A Gestão da Informação do Produto é iniciada com a criação da amostra segundo as especificações do cliente. Nesta fase constrói-se a ficha técnica onde constam as matérias-primas necessárias por secção, assim como o consumo destas (Figura 5).

Amishoes - GALGADOS, LDA
 TELEF: + 351 253 479 040
 FAX: + 351 253 479 049/8

FICHA TÉCNICA

Modelo/var.: P09-4160 / 01 Ref Cliente.: P09-4160 Data:

Cliente: TIGGERS

Designação: SAPATOS SENHORA / LADY SHOES TAUPE
 Tamanho Base: 37 Escalão: 35/46
 Pele 1: VULCANO 5009 Sola: NEOLITE 575
 Pele 2: Forma: FORMA 0575
 Pele 3: Sistema: Montados
 Forro: ANILPORCO 1014 Linha: TIGGERS
 Obs:

Materiais - Primas

Peça	Cod.Artigo	Designação	Cartaz/Cor	Consumo	Un
Operação: CORTE					
P1	PELE 1	PL.VULC 5009	VULCANO TAUPE 5009	2,700	PE
F1	FORRO 1	FR.ANP.1014	ANILINA PORCO PISTACHO 1014	1,450	PE
PL	PLANTAR	PP.LAT.3MD30	LATEX 3MM D30 AUTOCOLANTE	0,029	M2
TL	TELA 1	TL.J2005B120	TELA JERSEY 120 C/ CF 2005 BRANCO	0,095	M2
TL2	TELA 2	TL.LV130	TELA LV 130	0,020	M2
TE	TESTEIRA	TE.RX5951	TESTEIRA RX V-5951	0,019	M2
CF	CONTRAFOR	CF.BITER 330	BITERM 330	0,036	M2
PZ	PALMLIMP	FR.ANP.1014	ANILINA PORCO PISTACHO 1014	0,452	PE
TIM	TIMBRE	TIMB.TIG+TI	TIMBRE TIGGERS PRATA + "T" FOGO	1,000	PAR

Figura 5 – Ficha técnica do produto Amishoes

Para a elaboração desta folha é necessária a abertura de códigos para identificar tanto as matérias-primas como o produto acabado. Assim, cada vez que chega uma encomenda de um novo produto é atribuída uma referência, que permitirá identificar o tipo de produto (sapato de homem, criança, senhora, bota de senhora, entre outros) e a cor, que possui um código de quatro algarismos, onde o primeiro corresponde à cor principal e os seguintes às suas variantes. Também são atribuídos códigos a todas as matérias-primas referentes a esse sapato.

Com base no referido, pressupõe-se que a Amishoes utiliza a referência direta, ou seja, um tipo de referência onde é criada uma lista de materiais para cada artigo, o que torna bastante moroso o sistema de identificação de produtos e matérias-primas.

2.9. CONSTITUINTES DO SAPATO

A construção de um sapato passa por várias etapas onde são criados os diferentes componentes do produto.

Para a realização da referenciação, é necessário saber os constituintes do sapato e conhecer as suas características, assim como as operações envolvidas na sua produção. Alguns exemplos dos nomes dados pela Amishoes a cada componente do sapato encontram-se representados na Figura 6.

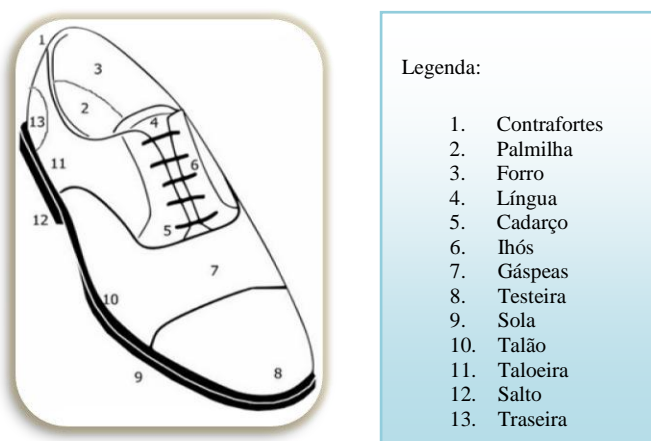


Figura 6 – Componentes do sapato (ATALEB, 2009)


2.10. PLANEAMENTO DAS NECESSIDADES DE MATERIAIS

O planeamento das necessidades de materiais, elaborado com base nas encomendas, tem como finalidade a determinação de todas as quantidades de matérias-primas necessárias para produzir os sapatos nas quantidades pretendidas pelos clientes.

Na Amishoes, é elaborado um documento em que se registam as necessidades de matérias-primas por cada encomenda, Figura 7.

AMISHOES - CALÇADOS, LDA **Vale de Material Nº 011107**

Modelo/var.: **P09-4160 / 01** Cór: **TAUPE**
 Nr Enco Ln.: **002342 / 29** Sola: **NEOLITE 575**
 Cliente: **20053 TIGGERS GMBH** Forma: **FORMA 0575**
 Ref Cliente: **P09-4160** Sistema: **Montados**
 Cliente Desp.: **203165** Prazo Entrega: **30-10-2009** Semana: **200944**
 Enco Cliente: **203165** Plano: **1 / 1**



33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	Qt. Enco.
				3	4	4	3	2						16
47	48													Qt. Lan.
														16

Materias - Primas
 Operação: **CORTE**

Cod. Artigo	Designação	Cartaz/Cór	Do Tam-At Tam	Tam	Cons/Par	Consumo	UM	Qt. Ent.	Qt. Retomo
PL VULC 5009	VULCANO TAUPE 5009				3,233	51,72	PE		
FRANP 1014	ANILINA PORCO PISTACHO 1014				2,055	32,88	PE		
PP LAT 3MD30	LATEX 3MM D30 AUTOCOLANTE				0,031	0,50	M2		
TL 2005B120	TELA JERSEY 120 C/ CF 2005 BRANCO				0,102	1,63	M2		
TL LV130	TELA LV 130				0,021	0,34	M2		
TE RX5951	TESTEIRA RX V-5951				0,02	0,33	M2		
CF BITER 330	BITERM 330				0,039	0,62	M2		

Figura 7 – Vale de material Amishoes

Antes da elaboração deste documento faz-se, na Modelagem, a elaboração da Ficha Técnica, Figura 8. Neste documento estão descritas as quantidades de matérias-primas a usar por cada par de sapato, e a secção em que cada matéria vai ser consumida. O tamanho base usado para o cálculo das necessidades de materiais é, geralmente, o 39. Para os outros tamanhos a empresa, multiplica os consumos do tamanho base por um certo fator. O sistema informático usado pela empresa, o *ERP WinGicc*, calcula automaticamente o consumo em função do tamanho do produto.

Apesar de à partida parecer tudo funcionar corretamente nesta função do *PCP*, registam-se algumas falhas. O controlo das entradas e saídas de matérias-primas é pouco rigoroso o que impossibilita a utilização eficiente dos dados referentes ao stock existente, o que, por sua vez, inviabiliza a elaboração de um plano correto de necessidade de materiais.

AMISHOES - CALÇADOS, LDA **FICHA TÉCNICA**

TELEF: + 351 253 479 040
 FAX: + 351 253 479 049/8

Modelo/var.: **P09-4160 / 01** Ref Cliente.: **P09-4160** Data:
 Cliente: **TIGGERS**

Designação: **SAPATOS SENHORA / LADY SHOES TAUPE**
 Tamanho Base: **37** Escalão: **35/ 46**
 Pele 1: **VULCANO 5009** Sola: **NEOLITE 575**
 Pele 2: **FRANP 1014** Forma: **FORMA 0575**
 Pele 3: **PP LAT 3MD30** Sistema: **Montados**
 Forro: **ANIL.PORCO 1014** Linha: **TIGGERS**



Obs:

Materias - Primas

Pele	Cod. Artigo	Designação	Cartaz/Cór	Consumo	Un
Operação: CORTE					
P1	PELE 1	PL VULC 5009	VULCANO TAUPE 5009	2,700	PE
F1	FORRO 1	FRANP 1014	ANILINA PORCO PISTACHO 1014	1,450	PE
PL	PLANTAR	PP LAT 3MD30	LATEX 3MM D30 AUTOCOLANTE	0,029	M2
TL	TELA 1	TL 2005B120	TELA JERSEY 120 C/ CF 2005 BRANCO	0,095	M2
TL2	TELA 2	TL LV130	TELA LV 130	0,020	M2
TE	TESTEIRA	TE RX5951	TESTEIRA RX V-5951	0,019	M2
CF	CONTRAFOR	CF BITER 330	BITERM 330	0,036	M2
PZ	PALM LIMP	FRANP 1014	ANILINA PORCO PISTACHO 1014	0,462	PE
TIM	TIMBRE	TIMB TIG+TI	TIMBRE TIGGERS PRATA + TI FOGO	1,000	PAR

Figura 8 – Ficha técnica Amishoes

2.11. PLANEAMENTO DAS NECESSIDADES DE CAPACIDADES

Quanto ao planeamento das necessidades de capacidade (*PNC*) realizado na Amishoes é baseado na ficha métodos e tempo. Com esta função pretende-se determinar se a empresa tem capacidade para satisfazer as encomendas que lhe são propostas.

Para a realização do *PNC* a empresa em estudo cronometra, na modelagem, os tempos de cada operação, a fim de encontrar o tempo total de produção em cada secção. No fim desta atividade é elaborado um documento que serve como base de informação para o *PNC*, a Ficha dos Métodos e Tempos, Figura 9. Neste documento consta que operação se deve fazer, o número de vezes que tem que ser realizada no mesmo produto, a máquina em que tem que ser feita, a secção onde decorre e, além disso tem a sequência de toda a gama operatória.

Referência: P02-4382					
Tempo por	25,53	Costura		20 efectivos	
Prod. diária	545	Pis		88 Pares/hora	
Vel. transport.	8,80				
Seq. opar	P.T.	Designação das operações	Tipo máquina	Tempo	Tempo 10PES
1		CARREGAR TRANSPORTADOR	MANUAL	0,000	0,000
2	1-2	FAZER FORROS + FAZER ZIG-ZAG NOS CANOS	MQ ZIG ZAG	1,369	13,690
3	6	VULCANIZAR	MQ VULCAN	1,321	13,210
4	7	ORLAR FORROS (ZONA DA MONTAGEM)	MQ ORLAR	0,340	3,400
5	10-14	EMENDAR VISTAS + EMENDAR VELCROS + FAZER COSTURA TALOEIRA	MQ 1AQ	1,389	13,890
6	5-36	METER GOLA + DAR ORVAÇOS EM FALSO NOS CANOS	MQ 1AQ	1,346	13,460
7	27-29	METER VISTAS NOS CANOS	MQ 1AQ	1,700	17,000
8	25	METER FOL	MQ 1AQ	1,120	11,200
9	19	FAZER "C" NA BIQUEIRA	MQ 1AQ	0,530	5,300
10	23-32	SCREPOR CANOS + METER BIQUEIRA	MQ 1AQ	1,700	17,000
11	13-18-22	METER TALOEIRA	MQ 2AQ	1,800	18,000
12	8-20	CRAVAR TIRAS À VOLTA	MQ 2AQ	1,720	17,200
13	30	METER AROCLAS NOS CANOS	MQ 1AQ	2,100	21,000
14	24	METER TIRAS DE VELCRO NOS CANOS	MQ 1AQ	1,300	13,000
15	26	CRAVAR O FORRO NO CANO + ESPUMA	MQ 1AQ	0,604	6,040
16	28	DAR COLA E COLAR AROCLAS + VIRAR PRESILHA TALOEIRA	MANUAL	0,700	7,000
17	17	DAR COLA COLAR ESPUMA NA PALA E VIRAR FORRO	MANUAL	0,855	8,550
18	30-32	CRAVAR FORRO	MQ 1AQ	1,400	14,000
19	34	APARAR + APARAR TIRAS DE VELCRO	MQ APARAR	1,756	17,560
20	15	QUEIMAR LINHAS + COLAR PASSADORES	MANUAL	1,260	12,600
Total de minutos em 10 pares				25,530	255,300

Figura 9 – Gama operatória modelo P02-4382 Amishoes

2.12. PLANEAMENTO DIRETOR DE PRODUÇÃO

Na Amishoes, o planeamento diretor da produção (*PDP*), uma das funções mais comuns e importantes do *PCP*, é realizado de forma pouco organizada. Apesar de se usar o planeamento de necessidades de capacidade e materiais na sua conceção, a empresa não tem um modelo nem segue nenhum para elaborar o *PDP*. Este comportamento promove

alguma desorganização na forma como são conduzidas as negociações de novas encomendas ou a compra de materiais aos fornecedores.

2.13. LANÇAMENTO DE ORDENS DE FABRICO

As ordens de fabrico (OF_s), são lançadas aquando da disponibilidade de materiais para se poder iniciar a produção, e após verificação da capacidade e preparação das máquinas. Para o lançamento da OF , a empresa utiliza um documento que vai acompanhar a encomenda pelas diferentes secções. Nesse documento constam as quantidades a produzir de cada tamanho e o prazo de entrega do produto final, como se observa na Figura 10. Este documento, carece de várias informações e é o mesmo para qualquer posto de trabalho.

AMISHOES - CALÇADOS, LDA

Modelo/var.: **P09-4160 / 01**

Nº Enco.Ln.: 002342 / 29

Cliente: 20053 TIGGERS GMBH

Ref Cliente: P09-4160

Cliente Desp.: 203165

Enco Cliente: 203165

Côr: TAUPE

Sola: NEOLITE 675

Forma: **FORMA 0575**

Sistema: Montados

Obsv Linha de Enco:

Nota Fabri Nr: 011107

Prazo Entrega: 30-10-2009

Semana: 200944

Plano: 1 / 1

33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	Qt.Enco.
				3	4	4	3	2						16
47	48													Qt.Lan.
														16

Peça	Artigo	Designação	Cor	Cons/Par	Un/M	Obs
Operação:	CORTE					
PELE 1	PL VULC 5009	VULCANO TAUPE 5009			2.700/PE	
FORRO 1	FR ANP 1014	ANILINA PORCO PISTACHO 1014			1.450/PE	
PLANTAR	PP LAT 3M030	LATEX 3M030 AUTOCOLANTE			0.029/M2	
TELA 1	TL J2005B120	TELA JERSEY 120 G/CF 2005 BRANCO			0.095/M2	
TELA 2	TL LV130	TELA LV 130			0.020/M2	
TESTEIRA	TE RX5951	TESTEIRA RX V-5951			0.019/M2	
CONTRAFO	CF BTER 330	BTERM 330			0.036/M2	
PALM LIMP	FR ANP 1014	ANILINA PORCO PISTACHO 1014			0.462/PE	
TIMBRE	TIMB TIG+TI	TIMBRE TIGGERS PRATA + "TI" FOGO			1.000/PAR	

Figura 10 – Nota de fabrico Amishoes

2.14. MONITORIZAÇÃO E CONTROLO DE PRODUÇÃO

Após o lançamento das ordens de produção, é iniciado um conjunto de trabalhos referente às operações pelas quais o produto tem que passar para ser processado. Mediante a existência ou não de lotes de produção, cada um dos trabalhos deverá ser afetado a um posto de trabalho e monitorizado.

Na Amishoes, a monitorização da produção é praticamente inexistente. As únicas ações realizadas, que podem ser integradas na função da monitorização e controlo da produção, são a contagem da produção em cada secção num determinado horizonte de tempo e a verificação dos produtos mediante as especificações pré-definidas pelos clientes, Figura

11. Na Figura 12 está representado o documento que a Amishoes utiliza para a contagem e verificação da produção. Este documento é preenchido pelo chefe de cada secção.

RELATÓRIO DEFEITOS - MONTAGEM/ACAB.

Ref.º _____ Plano: _____ Lote: _____ Data: _____

Defeitos	Nº De Sapatos c/ Defeitos
Defeito de Pelaria	
Peça mai cortada	
Façeados mal feito	
Gáspeas mal vergadas	
Peças mal riscadas	
Bordos mal pintados	
Peças estragadas faceados	
Timbres mal centrados	
Cravados tortos	
Cravados em falso	
Cravados pinçados	
Picas à vista	
Pontos cortados n/entido	
Izizados mal feitos	
Sólos mal colocados	
Fechos	
Aplicaç.(Fivelas,Boltes,etc)	
Tiras mal colocadas	
Ortados Mal Feitos	
Sapatos tortos	
Sapatos rebentados (bicos)	
Ferimento pele	
Solas mal apontadas	
Sapatos sujos	
Fornos com rugas	
Candados à vista	
Sapatos queimados	
Sapatos descolados	
Sapatos c/óculos nos bicos	
Linhas mal aparadas	
Cravados queimados	
Outros:	
	Total:
	Total Sapatos c/ Defeitos
	Total Pares Produzidos

Gestor de Linha: _____

Figura 11- Relatório diário de defeitos Amishoes

[illegible]

Figura 12 - Mapa de Posição das Ordens de Fabrico Amishoes

Estas medidas adotadas pela empresa pecam por defeito, o que se traduz numa deficiente monitorização e controlo da produção.

2.15. GESTÃO DE STOCKS

A gestão de stocks é uma função do planeamento e controlo da produção que se encarrega do registo de entradas e saídas de materiais do armazém e da expedição de produtos finais. Esta atividade permite uma interação com outras funções do *PCP*, fornecendo informação, por exemplo, para a classificação de fornecedores, compra de materiais, planeamento de necessidades de materiais e controlo do fluxo de matérias-primas.

A gestão de stocks na Amishoes é deficiente. Na empresa apenas se faz o registo da expedição de produtos acabados. Não existe um sistema que registe as entradas e as saídas de matérias-primas do armazém, o que impossibilita a determinação das existências de uma forma precisa.

2.16. ANÁLISE DOS DADOS DE PRODUÇÃO

Foram recolhidos para análise os dados de produção da empresa das três principais secções; corte, costura e montagem. Estes dados são referentes a 6 meses, de Outubro de 2010 a Março de 2011.

Tabela 2 – Resumo produção corte

		Corte
Ano	Mês	Produção
2010	Outubro	10.220
2011	Novembro	13.051
2011	Dezembro	6.784
2011	Janeiro	9.321
2011	Fevereiro	11.184
2011	Março	10.696
Total		61.256

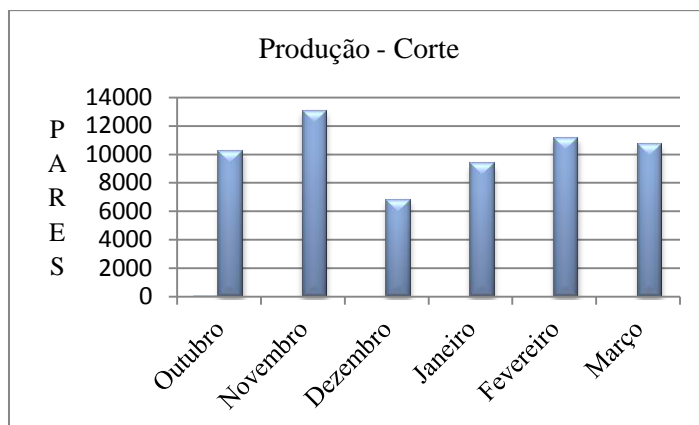


Gráfico 1 – Produção do corte

Tabela 3 – Resumo produção costura

		Costura
Ano	Mês	Produção
2010	Outubro	9.219
2011	Novembro	12.616
2011	Dezembro	7.177
2011	Janeiro	9.367
2011	Fevereiro	9.537
2011	Março	10.656
Total		58.572

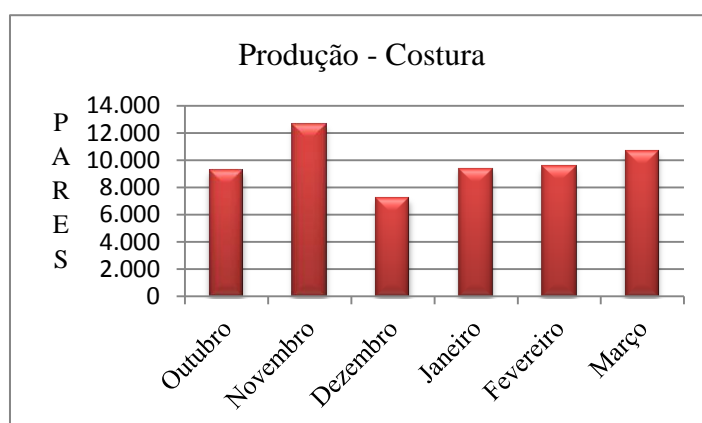


Gráfico 2 – Produção da costura

Tabela 4 – Resumo produção da montagem

Montagem		
Ano	Mês	Produção
2010	Outubro	11.591
2011	Novembro	12.734
2011	Dezembro	6.894
2011	Janeiro	11.053
2011	Fevereiro	13.206
2011	Março	15.465
	Total	70.943

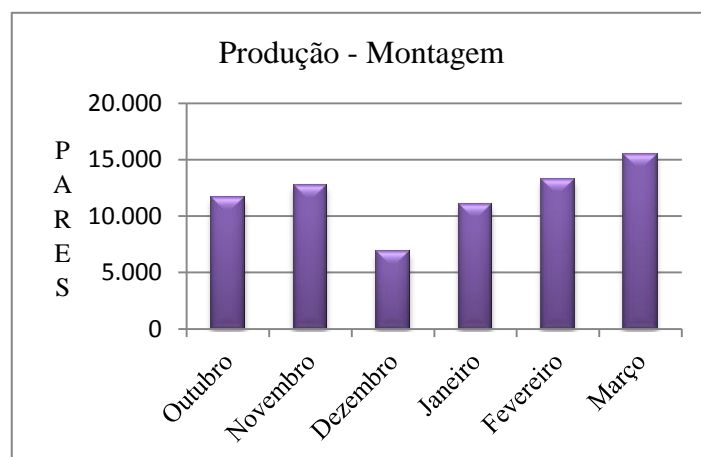


Gráfico 3 – Produção da montagem

Da análise dos dados de produção, verifica-se que normalmente o gargalo da produção encontra-se na secção do Costura, tendo muito próxima a secção do Corte. Com a passagem de uma máquina de corte a laser das amostras para a produção, o Corte vai melhorar a sua capacidade.

No entanto existe uma grande diferença da capacidade produtiva da Montagem, que no último semestre em análise, produziu mais de 70.000 pares de calçado, e as secções de Corte e Costura, que produziram cerca de 60.000 pares. No sentido de colmatar esta enorme diferença, a empresa subcontratou serviços de Corte e Costura.

A partir desta análise, e depois de se ter reforçado o sector do corte com uma máquina a laser, o estrangulamento de produção é desviado nitidamente para a secção de costura.

2.17. ANÁLISE DOS ATRASOS DAS ENCOMENDAS

Foram recolhidos dados sobre as encomendas referentes ao primeiro trimestre de 2011.

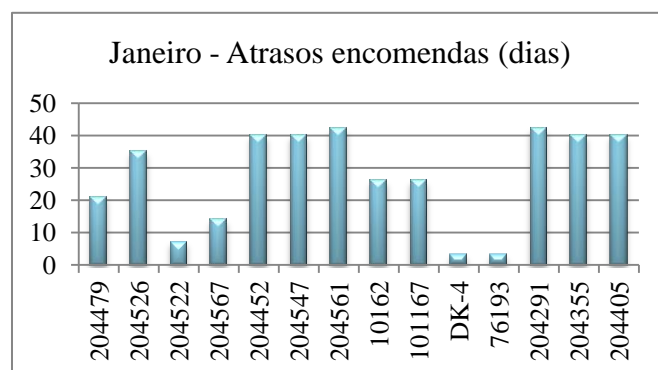


Gráfico 4 – Atrasos das encomendas em Janeiro

Tabela 5 – Análise estatística dos atrasos em Janeiro

Atraso mínimo	3 Dias
Atraso médio	27 Dias
Atraso máximo	42 Dias
Desvio padrão	15 Dias

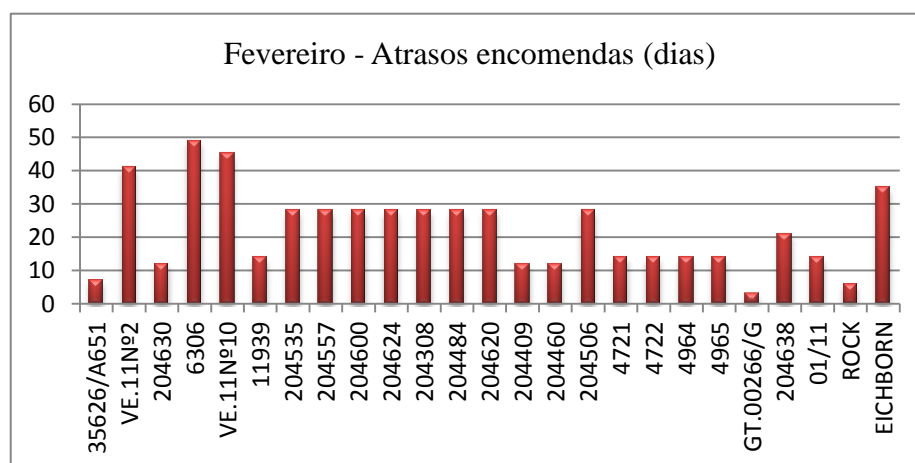


Gráfico 5 - Atrasos das encomendas em Fevereiro

Tabela 6 - Análise estatística dos atrasos em Fevereiro

Atraso mínimo	3 Dias
Atraso médio	22 Dias
Atraso máximo	49 Dias
Desvio padrão	12 Dias

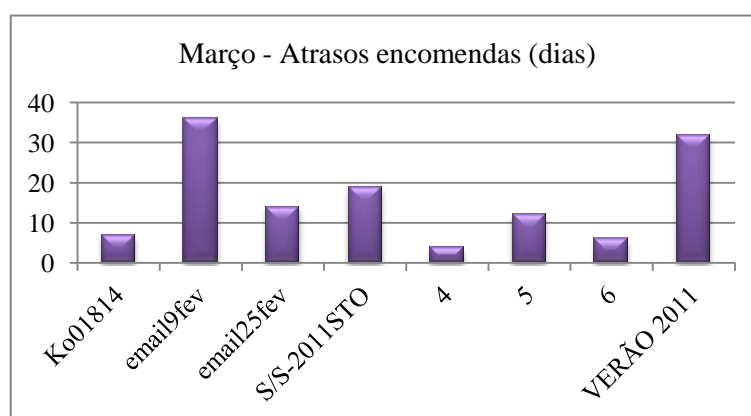


Gráfico 6 - Atrasos das encomendas em Março

Tabela 7 - Análise estatística dos atrasos em Março

Atraso mínimo	4 Dias
Atraso médio	16 Dias
Atraso máximo	36 Dias
Desvio padrão	12 Dias

Os prazos de entrega são negociados com os clientes, e nos meses em análise o prazo médio fornecido, foi de 50 dias após a confirmação da encomenda.

No intervalo de tempo analisado, salvo raras exceções, a data de lançamento das *OFs* é coincidente com o prazo dado ao cliente, o que me parece arriscado, e como sendo um dos fatores do não cumprimento dos prazos.

As encomendas só se consideram executadas quando a totalidade das referências constituintes da mesma estiverem prontas.

De referir que em Janeiro num total de 24 encomendas, 14 destas foram entregues com atraso médio de 27 dias, correspondendo a 58,3 % da totalidade das encomendas, tendo como atraso máximo 42 dias, e um mínimo de 3 dias.

Em Fevereiro das 29 encomendas, 25 foram entregues com atraso médio de 22 dias, correspondendo a 86,2 % da totalidade, tendo como atraso máximo 49 dias, e um mínimo de 3 dias.

Relativamente a Março das 13 encomendas, 8 foram entregues com atraso médio de 16 dias, correspondendo a 61,5 % da totalidade, tendo como máximo 36 dias, e mínimo de 4 dias.

2.18. A ESTRUTURA DE CUSTOS DA EMPRESA

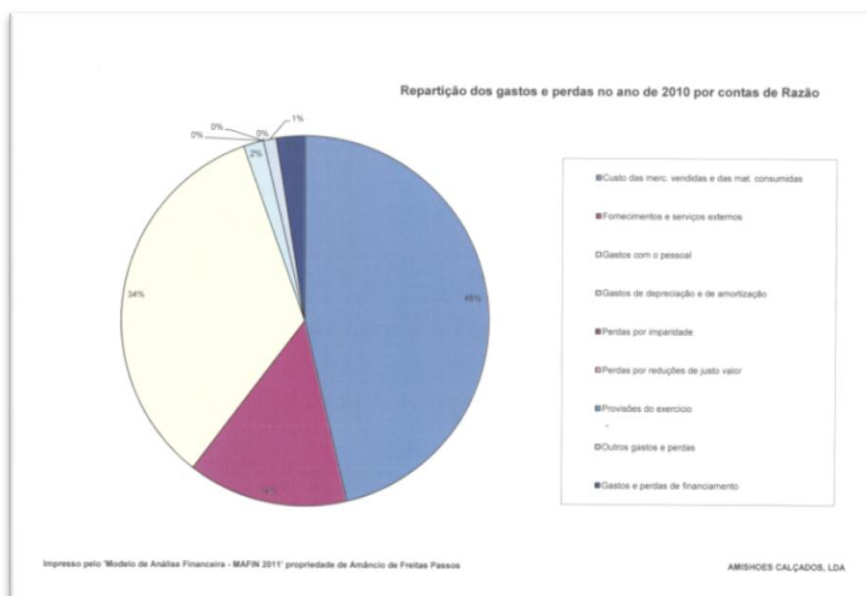


Gráfico 7 – Repartição dos gastos e perdas no ano 2010

Da análise do gráfico 7, é possível verificar que a percentagem mais importante na estrutura de custos na Amishoes são as matérias-primas com 46%, seguem-se os gastos com recursos humanos com 34%, e os fornecimentos e serviços externos com 14%. A soma dos três custos, corresponde a 94% dos custos totais da empresa. Neste contexto, é de extrema importância, a gestão da empresa, atuar com elevado rigor sobre estes três fatores.

2.19. ANÁLISE SWOT

A análise *SWOT* que se segue tem como objetivo posicionar e verificar a posição estratégica do estudo no meio envolvente.



Figura 13 – Análise SWOT

2.20. COMENTÁRIOS / CONCLUSÕES

A Amishoes é uma empresa em franco crescimento, comprometida em promover este crescimento de uma forma sustentada. É uma empresa aberta a novos pensamentos, com vontade de melhorar continuamente, e orientada para a satisfação do cliente.

Relativamente ao seu sector produtivo, existe uma capacidade produtiva muito desnivelada entre os seus principais sectores, havendo necessidade de recorrer à subcontratação. A sua secção mais crítica é sem dúvida, a Costura.

O aprovisionamento tem, diversas vezes, um reflexo negativo sobre *PCP*, quando por exemplo, as matérias-primas ou acessórios, não entram na empresa atempadamente para a execução do plano diretor de produção.

No que diz respeito ao *PCP*, a empresa está dotada de um funcionário com muita capacidade de trabalho, e com bons conhecimentos de organização, mas o acumular de

funções e a falta de uma ferramenta informática mais completa, faz com que não tenha o devido apoio para tomar as decisões mais corretas.

3. DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

Neste capítulo faz-se uma abordagem geral ao sistema produtivo, assim como a sua descrição e análise.

3.1. INTRODUÇÃO

O processo produtivo da empresa possui 6 secções: Corte, Pré-costura, Costura, Pré-montagem, Montagem e Acabamentos. Para além da produção existem outras secções: Amostras / protótipos, armazenamento de matéria-prima e materiais e armazenamento de produto acabado.

O conhecimento aprofundado do processo de fabrico, em particular da secção da costura, é fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

3.2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

No caso da produção de calçado, a variação no processo de fabrico é muito reduzida mas, existe uma grande diversidade de produtos finais. Pode-se, então, afirmar que o tipo de produção, em função da organização do fluxo de produção, é descontínuo.

Devido à grande variabilidade do produto final, as encomendas são, normalmente, feitas para um número pequeno de pares de sapatos. Assim, pode afirmar-se que a produção é feita em pequenas séries, algumas vezes com repetições de encomendas.

A instalação da Amishoes está organizada por oficinas funcionais, num sistema produtivo orientado ao processo, com exceção da montagem, que é uma linha, orientada ao produto.



Figura 14 – Vista geral da fábrica

A empresa possui uma sala de modelagem, um armazém de matérias-primas, uma secção de corte, pré-costura, costura, pré-montagem, montagem e acabamento. Tem ainda um centro de controlo da qualidade e um espaço reservado à armazenagem do produto acabado antes da expedição. Toda esta estrutura está disposta de acordo com o *layout* (Figura 13), onde se apresenta o fluxo de produção.

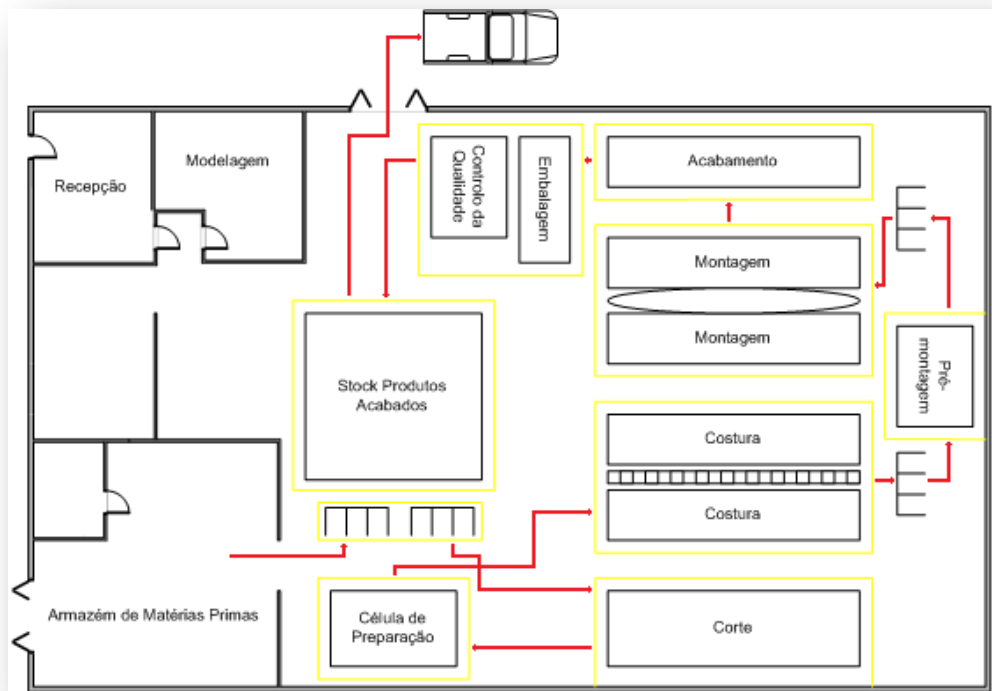


Figura 15 – Layout com fluxo de produção

O processo de concretização da amostra é feito na modelagem. Aqui os moldes dão origem a uma amostra que pode ser, ou não, aprovada pelo cliente. Sendo aceite pelo cliente, é elaborada uma folha de verificação denominada de “Aprovação do Primeiro Par” que servirá como termo de comparação relativamente à amostra realizada na modelagem com os sapatos produzidos no sistema produtivo.

O processo de confeção do produto começa no corte. São cortadas as peles, sintéticos e os tecidos usados num calçado. É muito importante a minimização dos desperdícios, pois estes podem ter um impacto económico importante, dado o elevado custo dos materiais em causa.

O corte das peles, sintéticos e tecidos a utilizar no calçado, pode ser realizado automaticamente utilizando máquinas de corte a laser (Figura 16), ou manualmente, com ajuda de prensas (balancés) e cortantes. As peles, sintéticos ou tecidos são cortadas, separadas e agrupados por tamanhos. As peles cortadas são reagrupadas por lotes e colocadas em caixas.

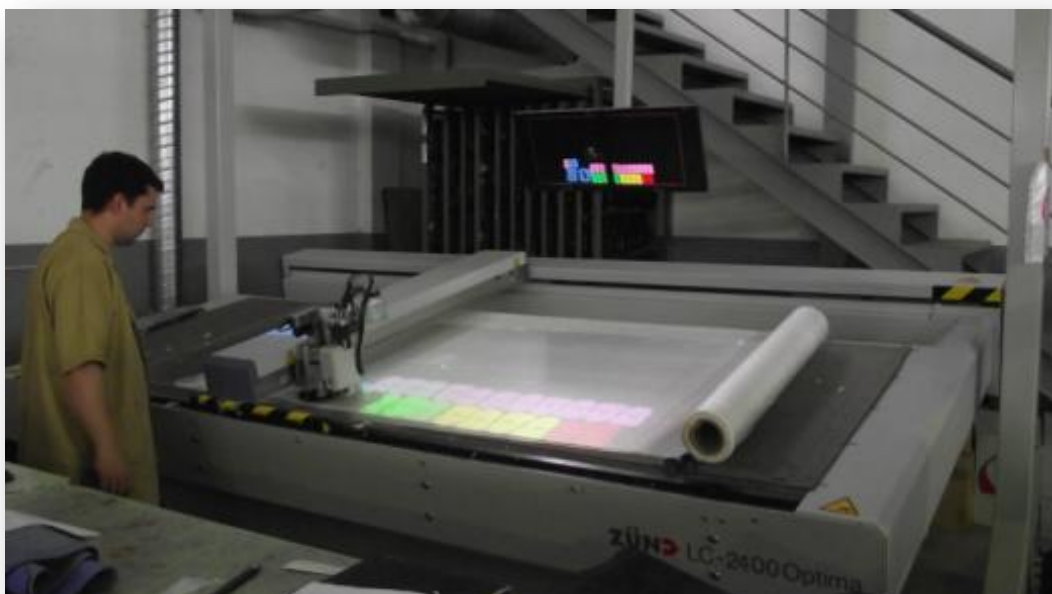


Figura 16 – Operação de corte a laser

Na pré-costura as peles são facetadas (Figura 17) e timbradas.



Figura 17 – Operação de facear

De seguida, as caixas com os artigos vão para a costura (Figura 18). Nesta secção os artigos são colocados num tapete, ilustrado na Figura 19, que se desloca e faz chegar os artigos a cada posto de trabalho. Aqui ocorrem várias operações entre as quais se destacam a colocação de testeiras, forros, gáspeas, contrafortes e ilhós.



Figura 18 – Secção da costura



Figura 19 – Tapete transportador da costura

As gáspeas voltam a sair da secção dentro das caixas para a pré-montagem.

Na secção de pré-montagem (Figura 20), as gáspeas chegam dentro das caixas e aqui sofrem um conjunto de alterações em vários postos de trabalho, preparando-as para seguirem para a secção de montagem. As gáspeas voltam a sair da secção dentro das caixas.



Figura 20 – Pré-montagem

Na secção de montagem (Figura 21), as gáspeas chegam dentro das caixas, são separadas e colocadas num transportador que se movimenta em círculo, a uma cadência predefinida (imposta pelo número de pares a produzir por dia) passando por vários postos sofrendo as várias operações da gama. Aqui as gáspeas são metidas nas formas e montadas nas solas,

tomando a forma definitiva. As caixas ficam vazias e prontas a serem reutilizadas com outras ordens de fabrico.



Figura 21 – Secção da montagem

Finalmente surge a secção de acabamentos e embalagem (Figura 22). Aqui os sapatos são retocados, rematam-se os últimos fios, limpam-se, colocam-se os cordões (se for o caso do modelo).

Por fim, o par é colocado nas caixas e libertado para o controlo de qualidade final. Se tudo estiver dentro das especificações, são colocados em caixas de acordo com os tamanhos pedidos pelo cliente e aguardam a expedição no local reservado a produtos acabados.



Figura 22 – Acabamentos e embalagem

No final de todo o processo, é elaborado um “Relatório Mensal da Qualidade”, onde são registados, numa tabela, o total de defeitos, as peças recuperáveis e o total de pares produzidos. Com base neste relatório, é elaborado um Diagrama de Pareto, uma das ferramentas da qualidade, que indica os principais problemas, identificando-se assim, onde reside o núcleo dos defeitos e a prioridade para intervir.

É representado num gráfico que permite ver onde reside o maior número de problemas. Depois de serem definidos os tipos de problemas e contabilizados e registados os dados, são representados por ordem decrescente, consoante a sua gravidade, como se pode verificar na Figura 23.

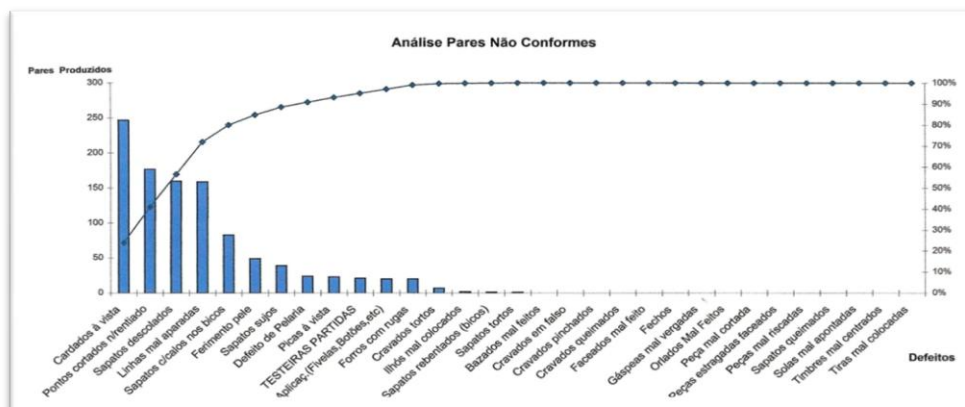


Figura 23 – Diagrama de Pareto Amishoes

4. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Neste capítulo descreve-se com pormenor o funcionamento da secção da costura. A secção da costura é a mais crítica do ponto de vista de aproveitamento da mão-de-obra pelo que lhe é dada, no planeamento, a maior atenção, e será o nosso objeto de estudo.

4.1. RECURSOS

A costura está dividida em duas linhas de produção cuja constituição pode variar, essencialmente porque as máquinas são facilmente transportáveis de uma linha para a outra. No entanto, a sua constituição básica é sempre a mesma. As linhas têm um transportador central através do qual se faz a distribuição dos lotes de calçado pelos postos de trabalho (*PTs*). As linhas de costura podem produzir um ou vários modelos diferentes. O tipo de produção muda ao longo do tempo devido a uma procura de modelos de calçado diferenciados, o que implica uma produção reduzida.

Cada lote (caixa) tem um número de 10 pares, que têm obrigatoriamente de ser do mesmo modelo, cor e tamanho. O lote é introduzido numa caixa etiquetada com código de barras, e lançado para a linha de produção onde são executadas as operações que compõe a gama operatória do modelo.

O sector da costura possui 36 *PTs* que se distribuem de ambos os lados de um transportador central, sistema mecânico constituído por um tapete rolante passando na parte superior e inferior do transportador movendo-se em sentidos contrários, encontrando-se a um dos topos da linha uma funcionária (a distribuidora) que, através do transportador, controla o recebimento / envio de caixas de / para os *PTs*.



Figura 24 – A distribuidora a identificar a próxima operação



Figura 25 – A distribuidora a enviar caixa

Os 36 *PTs* são constituídos por máquinas, e por postos auxiliares, que são criados de acordo com o modelo a produzir. Todos precisam de um operador para poderem funcionar. Há diferentes tipos de postos e diferentes quantidades de cada um dos tipos. Os postos que conseguem realizar o mesmo conjunto de operações, fazem parte de um mesmo tipo. Nem todos os postos se destinam a entrar em funcionamento num dia de trabalho, apenas são utilizados os necessários para a realização das ordens de fabrico definidas para esse dia. A constituição da linha pode variar ao longo do tempo, mantendo-se normalmente as máquinas alocadas aos postos, e permitindo a deslocação dos operadores consoante as necessidades. De acordo com as especificações de produção, serão efetuadas as alterações dos postos. A afetação dos operadores aos *PTs* é feita pelo diretor de produção, que conhece as capacidades, competências e preferências de cada um para a realização das várias operações.



Figura 26 – Postos de trabalho

Cada *PT* admite até 2 caixas, a primeira (em baixo) encontra-se a ser processada e a segunda (em cima), a aguardar. Tal, permite que um posto apenas fique em situação de paragem, se não existir em armazém nenhuma caixa cuja próxima operação possa ser realizada nesse posto. Para tal, em cada *PT*, existem dois sensores, um colocado junto à saída do tapete superior (*STS*), e outro colocado à saída tapete inferior (*STI*).



Figura 27 – Sensor STS

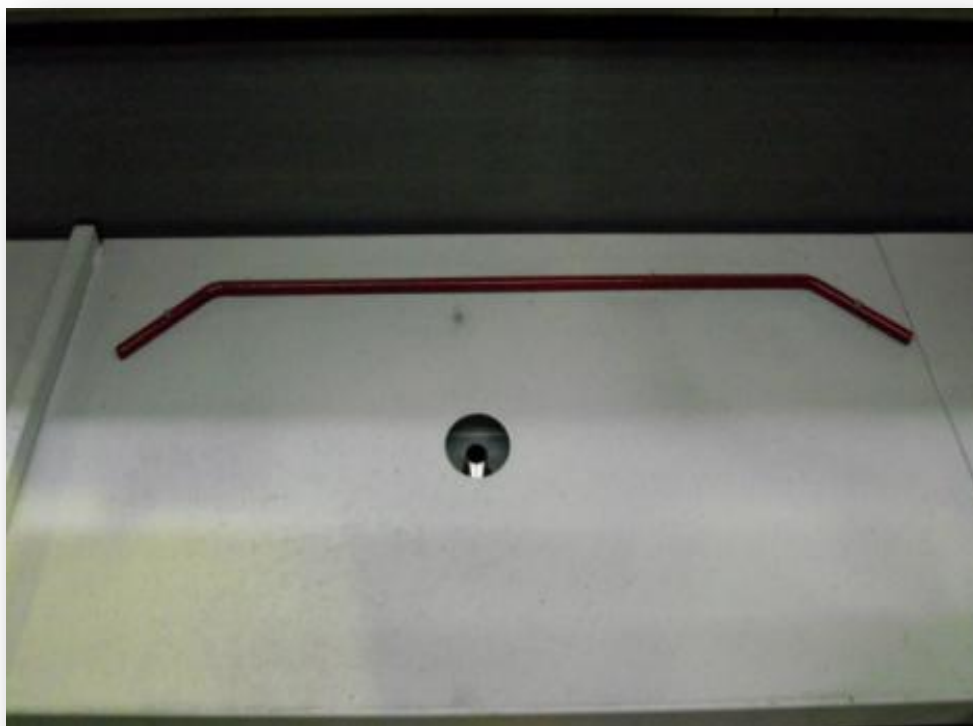


Figura 28 – Sensor STI

O sistema é controlado por computador. A distribuidora dispõe de um monitor, onde pode visualizar os postos que se encontram a aguardar uma caixa e os números de caixas disponíveis cuja próxima operação a realizar é adequada a cada um desses postos, utilizando um teclado para registar a escolha efetuada. Esta tarefa exige um conhecimento profundo do processo produtivo e rapidez de resposta aos pedidos, pelo que a distribuidora é fundamental na produtividade desta fase do processo, e por conseguinte na produtividade total da empresa. O sistema está ligado ao programa de gestão da produção (*ERP WinGicc*), e em qualquer altura pode verificar-se todos os índices relacionados com a produção, tais como, produtividade da linha (número de sapatos produzidos na linha durante um dia de trabalho), rendimento por posto, rendimento total da linha (a proporção de tempo realmente gasto em operações sobre o tempo total de um dia de trabalho), etc.



Figura 29 – O controlo da distribuição



Figura 30 – Painel com visualização dos postos

Embora a empresa tenha como objetivo para este sector, o rendimento de 95 %, o mais usual é, conseguirem-se rendimentos na ordem dos 65% a 75%. Estes rendimentos, que poderemos considerar baixos, devem-se em grande parte, à grande diversidade de modelos que se pretende sejam produzidos na linha, e também à dimensão (pequena) das quantidades a produzir, o que faz com que seja difícil o equilíbrio da linha, gerando ineficiências.

Não se considera que a costura é uma linha de produção tradicional, pois as caixas não passam diretamente de um posto para o contíguo, mas sim através do transportador para um qualquer posto do setor.

A “linha” é alimentada pelo transportador. Como o transportador está acoplado aos 36 *PTs*, a secção passa a constituir uma linha flexível de produção, apresentando flexibilidade ao nível da sequência pela qual são percorridos os vários postos. O tapete superior destina-se a transportar caixas de um armazém temporário (*buffer*) para qualquer posto e o tapete inferior para devolver as caixas saídas dos postos ao *buffer*. Qualquer posto pode ser o próximo para onde se deverá dirigir uma caixa que acabou de realizar uma determinada operação, uma vez que essa caixa retorna ao *buffer* sempre que acaba uma operação e daí pode dirigir-se para outro *PT* e realizar a operação seguinte da gama operatória, escolhida

pelo programa de controlo. Quer isto dizer que, a sequenciação física dá lugar a uma sequenciação lógica, independente do *layout* da “linha”. Este facto, permite a produção de diferentes modelos na linha associados a diferentes sequências operatórias.



Figura 31 – Leitor de código de barras tapete inferior



Figura 32 – Leitor de código de barras tapete superior

Este tipo de transportador, apresenta vantagens e desvantagens, dependendo muito, da experiência da distribuidora encarregue da gestão de caixas na linha. Se esta for experiente e conhecedora do processo produtivo dos vários modelos, pode resolver qualquer situação anómala que surja, por exemplo, obrigando um posto a efetuar uma operação que não lhe está destinada mas que ela sabe ser capaz de executar, para assim evitar que haja postos parados. Por outro lado esta capacidade pode passar a ser uma desvantagem para a empresa, pois fica dependente desta funcionária. Se esta faltar, a linha reduz a sua produtividade, pois a empresa não tem sempre disponível alguém com experiência suficiente para a realização desta tarefa, e neste caso, provoca um acumular de caixas sem que haja resposta devida aos pedidos dos *PTs* que ficam livres, ficando assim muitas vezes postos inativos durante algum tempo.

Os 36 operadores são polivalentes, ou seja podem executar mais do que uma operação em mais de uma máquina.

A regra de sequenciação utilizada é a seguinte: as séries são processadas de acordo com a ordem de chegada e em caso de igualdade, processam-se as ordens de acordo com o valor da prioridade atribuída ao cliente e/ou ao produto (amostras, importância do cliente, condições de pagamento, etc.).

Na figura 33, através do diagrama Spaghetti para o modelo P02-4382, podemos verificar visualmente, e de forma clara, que a movimentação de uma caixa ao longo da secção da costura, não é feita de forma linear.

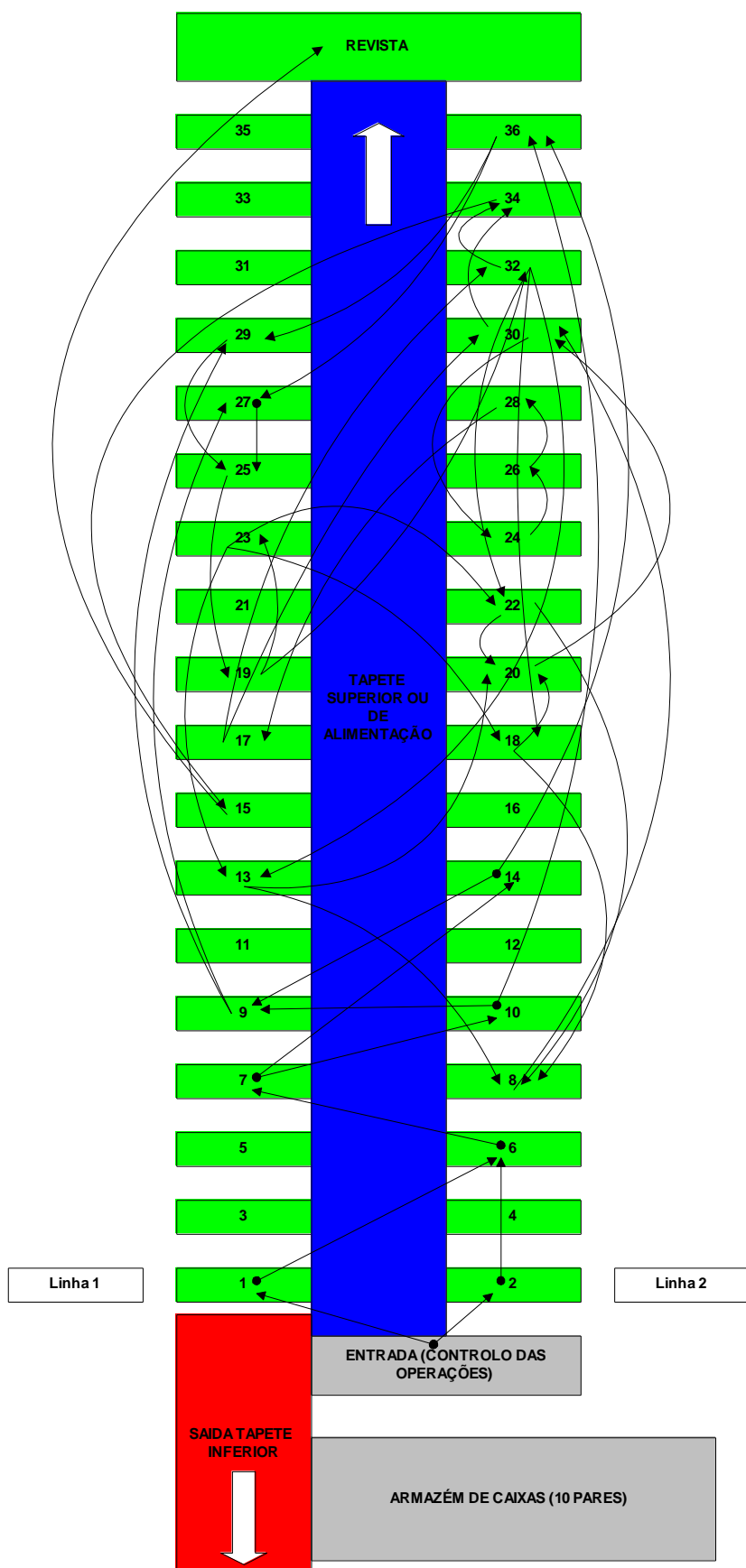


Figura 33 – Diagrama Spaghetti para o modelo P02-4382

4.2. A GAMA OPERATÓRIA

A gama operatória (*GO*) contém a listagem das operações que devem ser executadas na costura de determinado modelo. Cada gama é constituída por um conjunto de operações, e o tempo de execução de cada operação por par de sapatos. As operações estão listadas na ordem pela qual devem ser executadas, cada gama contém também para cada operação, a informação do número do posto em que vai ser executada.

Sempre que é criado um modelo novo, é desenvolvida uma nova gama, que é guardada no sistema de informação. O seu desenvolvimento é efetuado por um responsável (do setor das amostras), que de forma experimental, constrói um sapato registando as operações que efetuou e tempos aproximados de execução. Estes tempos são atualizados quando um modelo entra em produção.

As gamas operatórias são fundamentais pois indicam à distribuidora, qual o input para o transportador de costura, contendo as operações, tempos de execução, sequência de execução, e relações de precedência.

4.3. O BALANCEAMENTO DA SECÇÃO DA COSTURA

A empresa em estudo, efetua atualmente o balanceamento sem qualquer tipo de ferramenta de programação da produção. Os operadores são distribuídos pelos postos, em função das operações que sabem executar. As caixas são distribuídas pelos *PTs*, tendo em consideração o material cortado que existe disponível.

Depois de começarem a executar operações, existe uma ou duas distribuidoras a monitorizar as caixas que se encontram em espera em cima e em baixo (em processamento) em cada posto. Se existirem postos sem caixas em espera, a distribuidora procura no *buffer*, modelos que necessitem das operações que neles são executadas, e fazem o envio. Se existirem várias caixas em espera para um mesmo posto, a distribuidora atribui essa operação a outro posto com máquina (desde que definida pela *GO*) e operador compatível. Desta forma, sempre que um dos postos esteja disponível recebe caixa para executar a operação. É assim que a distribuidora efetua o balanceamento e tenta eliminar os estrangulamentos. A eficiência da secção não é a esperada pois os problemas são resolvidos pontualmente sem uma visão global do planeamento da produção da empresa.

5. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Neste capítulo procede-se ao enquadramento dos problemas de *scheduling* (programação) no planeamento da produção em sistemas de produção do tipo *job-shop* com máquinas multi-operação. É feita uma abordagem aos problemas de programação, seguida da classificação deste tipo de problemas, e é proposta uma notação matemática. Em seguida é apresentada a definição do problema de *job-shop* com máquinas multi-operação, e por último, aborda-se a complexidade deste problema.

5.1. INTRODUÇÃO

Podemos ter várias definições para *scheduling*, de acordo com diversos investigadores desta área.

Scheduling (programação) é uma forma de decidir, que desempenha um papel crucial na indústria e serviços. No atual ambiente competitivo, a programação eficaz, tornou-se uma necessidade para a sobrevivência nos mercados. As empresas têm de cumprir com os prazos fornecidos aos clientes, pois se não o fizerem, pode resultar em grandes perdas. É

necessário programar as atividades de forma a utilizar os recursos disponíveis de forma eficiente (Pinedo, 2008).

Um programa é um esquema para a realização de atividades, utilizando recursos ou atribuindo instalações. A finalidade da programação das operações, na instalação funcional, é desagregar o programa diretor de produção em atividades faseadas por semana, dias ou horas – ou, por outras palavras, especificar, em termos precisos, a carga de trabalho do sistema produtivo planeada a muito curto prazo (Chase & Aquilano, 1995).

A programação tem como objetivo a afetação de recursos no tempo necessário para executar um conjunto de processos (Baker, 1974).

A Programação da Produção e das Operações tem como principais objetivos: cumprir prazos de entrega, reduzir os tempos de fluxo (melhorando a eficiência de utilização das máquinas) e minimizar as existências em curso (decorrentes de trabalhos em curso). Utiliza para isso variadas técnicas de que se destacam: regras heurísticas, algoritmos heurísticos, programação matemática, programação dinâmica, *branch & bound*, entre outros (Roldão & Ribeiro, 2007).

Num problema de programação em máquinas multi-operação, trabalhos ou operações podem ser processados por qualquer máquina de subconjuntos pré-especificados do conjunto das máquinas (Brucker, Jurisch, & Krämer, 1997).

5.2 PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO

Os problemas de programação são caracterizados por três conjuntos de entidades (Blazewicz, Lenstra, & Rinnooy Kan, 1983):

- Conjunto das n trabalhos (*jobs*), $J = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$,
- Conjunto dos m processadores (*máquinas*), $M = \{M_1, M_2, \dots, M_m\}$,
- Conjunto dos s recursos adicionais (operadores, ferramentas, etc.), $R = \{R_1, R_2, \dots, R_s\}$.

Programação normalmente significa afetar máquinas de M e (possivelmente) recursos de R a trabalhos de J , por forma a concluir todos os trabalhos respeitando as condições impostas.

Existem duas condições gerais na teoria clássica da programação:

- Cada trabalho deve ser processado numa máquina de cada vez, no máximo.
- Cada máquina é capaz de processar um trabalho de cada vez, no máximo.

As máquinas podem ser dos seguintes tipos:

- Paralelas: executam o mesmo tipo de funções;
- Dedicadas: especializadas na execução de certas tarefas.

Dentro das máquinas paralelas, dependendo da sua velocidade de processamento das tarefas, podemos distinguir três tipos de máquinas diferentes:

- Idênticas: iguais velocidades de processamento das tarefas;
- Uniformes: diferentes velocidades de processamento das tarefas mas a velocidade de cada máquina é constante não dependendo da tarefa a processar;
- Não-idênticas: velocidade de processamento dependente da tarefa particular a ser executada.

No caso das máquinas dedicadas, existem três modelos de processamento de conjuntos de tarefas:

- Linha de Produção (*Flow Shop*): corresponde a sistemas de produção em que as máquinas são implantadas em linha definindo um percurso fixo para todos os trabalhos que são processados nessa linha. Normalmente, a cadência produção é fixada a um determinado nível.
- Oficina de Fabrico (*Job Shop*): implantação fabril funcional em que as máquinas são agrupadas de acordo com as suas funções e em que os trabalhos seguem um percurso através dessas áreas funcionais que pode ser diferente para cada um dos trabalhos.
- Sistemas de produção Flexível (*Open Shop*): os trabalhos podem entrar no sistema de produção para qualquer máquina e sair dele através de qualquer máquina;

De uma forma geral, o trabalho $J_j \in J$ é caracterizado pela seguinte informação:

1. Vetor de tempos de processamento $p_j=[p_{1j}, p_{2j}, \dots, p_{mj}]^J$, onde p_{ij} é o tempo necessário para a máquina M_i processar a tarefa J_j . No caso de máquinas idênticas, teremos $p_{ij}=p_j$, $i=1, 2, \dots, m$. Se as máquinas forem uniformes então teremos $p_{ij}=p_j/b_i$, onde p_j é o tempo de processamento standard (normalmente medido na máquina mais lenta) e b_i é o fator de velocidade de processamento da máquina M_i .
2. Vetor de tempos de preparação da máquina dependentes da sequência de tarefas a processar $s_j^p=[s_{1j}^p, s_{2j}^p, \dots, s_{nj}^p]^J$, onde s_{ij}^p é o tempo necessário para preparar a máquina M_p para processar o trabalho J_j depois de ter processado o trabalho J_i . No caso de máquinas idênticas, teremos $s_{ij}^p=s_{ij}$, $i, j=1, 2, \dots, n$.
3. Tempo de disponibilidade r_j , que é o instante de tempo em que o trabalho J_j fica disponível para ser processado.
4. Data de entrega d_j , que especifica o limite de tempo até ao qual o trabalho M_j deve ficar concluído. Normalmente são definidas funções de penalidade para a violação das datas de entrega.
5. Data limite de entrega, \tilde{d}_j que define o limite de tempo até ao qual o trabalho J_j tem que ser impreterivelmente concluído.
6. Prioridade w_j , que expressa a urgência relativa de J_j .
7. Necessidades de recursos (se necessários).

Assume-se que todos estes parâmetros, p_j , r_j , d_j , \tilde{d}_j , e w_j , são inteiros. Assume-se também que os recursos são afetados aos trabalhos quando o processamento destes se inicia ou se reinicia, e que são libertados quando o processamento dos trabalhos está concluído ou é interrompido.

Uma programação diz-se interrompida se o processamento de cada tarefa pode ser interrompido em qualquer momento e reiniciado mais tarde, sem custo adicional, possivelmente noutra máquina. Se o processamento dos trabalhos não pode ser interrompido, a programação diz-se não interrompida.

Podem ser definidas restrições de precedência entre os trabalhos do conjunto J . $J_i \prec J_j$ significa que o processamento do trabalho J_i deve ser concluído antes de se dar início ao processamento do trabalho J_j . Os trabalhos do conjunto J dizem-se dependentes se a ordem de execução de pelo menos dois trabalhos de J tem uma restrição de precedência. Caso contrário, os trabalhos dizem-se independentes. Um conjunto de trabalhos ordenado pela sua relação de precedência é usualmente representado num grafo direto (dígrafo), no qual os nodos correspondem aos trabalhos e aos arcos correspondem as restrições de precedência. Assume-se que não existem arcos de fecho transitivo nos grafos de precedências. O trabalho J_j diz-se disponível no instante de tempo t se $r_j \leq t$ e todos os trabalhos seus predecessores já estiverem concluídos.

Vamos agora apresentar algumas definições relativamente à programação.

Um *programa* é uma afetação de máquinas do conjunto M (e possivelmente recursos do conjunto R) a trabalhos do conjunto J num tempo tal que as seguintes condições sejam satisfeitas:

- em qualquer momento cada máquina está a processar um trabalho, no máximo, e cada trabalho está, no máximo, a ser processado por uma máquina;
- o trabalho J_j é processado no intervalo de tempo $[r_j, \infty[$;
- todos os trabalhos estão concluídos;
- se os trabalhos J_i, J_j estão relacionadas em $J_i \prec J_j$, o processamento de J_j não pode começar antes de J_i estar concluída;
- no caso de programação não interrompida nenhuma tarefa é interrompida (o programa diz-se não interrompido), caso contrário o número de interrupções de cada tarefa é finito e a programação diz-se interrompida;
- as restrições associadas aos recursos, se existentes, são satisfeitas.

As programações podem ser representadas através de gráficos de Gantt (Figura 34 e Figura 35). O objetivo é minimizar uma função do tempo para a realização dos trabalhos, satisfazendo certas restrições.

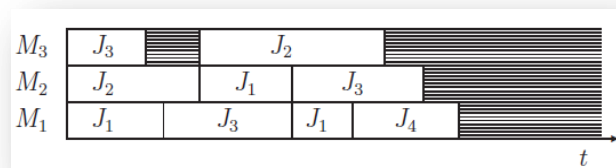


Figura 34 - Gráfico de Gantt orientado para as máquinas (Adaptado de (Brucker P. , 2007))

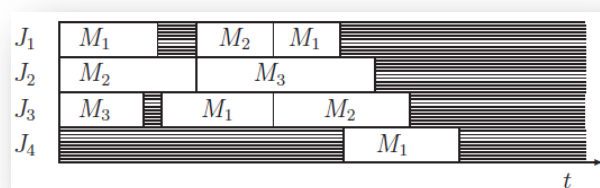


Figura 35– Gráfico de Gantt orientado para os trabalhos (Adaptado de (Brucker P. , 2007))

O trabalho J_j consiste num número n_j de operações O_{j1}, \dots, O_{j,n_j} , que, associado com a operação O_{ij} , constitui um requisito de processamento p_{ij} . Se o trabalho J_j consistir apenas numa operação ($n_j=1$), podemos então identificar J_j com O_{j1} e indicar o requisito de processamento por p_j . Além disso, é especificada uma data de lançamento r_j , quando a primeira operação de J_j fica disponível para ser processada. Associado a cada operação O_{ij} há um conjunto de máquinas $\mu_{ij} \subseteq \{M_1, \dots, M_m\}$. Qualquer operação O_{ij} pode ser processada em qualquer uma das máquinas em μ_{ij} . Normalmente, todos os μ_{ij} são conjuntos de um elemento ou todos os μ_{ij} são iguais ao conjunto de todas as máquinas. No primeiro caso temos máquinas dedicadas, ou seja, são especializadas em certas tarefas. No segundo caso as máquinas são consideradas paralelas, ou seja, todas as máquinas executam o mesmo tipo de funções. O caso geral é utilizado para resolver problemas em fabrico flexibilizado onde as máquinas estão equipadas com diferentes ferramentas. Isto significa que uma operação pode ser processada em qualquer máquina equipada com a ferramenta adequada. Problemas de programação deste tipo são considerados problemas com máquinas multi-operação (*MPM – Multi-Purpose -Machines*) (Brucker P. , 2007).

Devido á grande variedade de problemas de programação da produção, foi necessário criar uma classificação, para facilitar a sua compreensão. Uma forma de catalogar este tipo de problemas foi proposta por Graham et al. (Graham, Lawler, Lenstra, & Rinnooy Kan,

1979) e Blazewicz et al. (Blazewicz, Ecker, Pesch, Schmidt, & Weglarz, 1996) e será a notação adotada neste trabalho

A notação é constituída por três campos referenciados como $\alpha|\beta|\gamma$, significando o seguinte:

O primeiro campo, $\alpha = \alpha_1\alpha_2\alpha_3$ descreve o tipo de máquina e o seu número.

O parâmetro $\alpha_1 \in \{1, P, Q, R, O, F, J\}$ caracteriza o tipo de máquinas:

- $\alpha_1 = 1$: uma única máquina;
- $\alpha_1 = P$: máquinas idênticas (máquinas paralelas);
- $\alpha_1 = Q$: máquinas uniformes (máquinas paralelas);
- $\alpha_1 = R$: máquinas não idênticas (máquinas paralelas);
- $\alpha_1 = O$: máquinas dedicadas, modo *open shop*;
- $\alpha_1 = F$: máquinas dedicadas modo *flow shop*;
- $\alpha_1 = J$: máquinas dedicadas modo *job shop*;

O parâmetro $\alpha_2 \in \{\emptyset, k\}$ representa o número de máquinas do problema.

- $\alpha_2 = \emptyset$ (vazio): o número de máquinas é variável;
- $\alpha_2 = k$: o número de máquinas é fixo e igual a k (sendo k valor inteiro e positivo).

O parâmetro $\alpha_3 = (MPM)$ para problemas de máquinas multi-operação. Caso contrário não existe.

O segundo campo, $\beta = \beta_1\beta_2\beta_3\beta_4\beta_5\beta_6\beta_7\beta_8$ descreve as características das tarefas e recursos adicionais. É neste campo que são indicadas características de disponibilidade, *deadlines*, e tempos de preparação das máquinas.

O parâmetro $\beta_1 \in \{\emptyset, pmtn\}$ indica a possibilidade de interrupção:

- $\beta_1 = \emptyset$: a interrupção não é permitida;
- $\beta_1 = pmtn$: a interrupção é permitida;

O parâmetro $\beta_2 \in \{\emptyset, res\}$ caracteriza os recursos adicionais:

- $\beta_2 = \emptyset$: não existem recursos adicionais;
- $\beta_2 = res$: existem restrições relacionadas com recursos.

O parâmetro $\beta_3 \in \{\emptyset, prec, uan, tree, chains\}$ caracteriza as restrições de precedência:

- $\beta_3 = \emptyset$: não existem relações de precedência – trabalhos independentes;
- $\beta_3 = prec$: restrições de precedência genéricas;
- $\beta_3 = uan$: restrições de precedência do tipo *unconnected activity networks*;
- $\beta_3 = tree$: restrições de precedência em forma de árvore;
- $\beta_3 = chains$: restrições de precedência que formam um conjunto de cadeias.

O parâmetro $\beta_4 \in \{\emptyset, r_j\}$ caracteriza as datas de disponibilidade dos trabalhos:

- $\beta_4 = \emptyset$: todas as datas de disponibilidade são iguais a zero;
- $\beta_4 = r_j$: as datas de disponibilidade variam com o trabalho.

O parâmetro $\beta_5 \in \{\emptyset, p_j = p\}$ caracteriza a duração dos trabalhos:

- $\beta_5 = \emptyset$: os trabalhos têm tempos de processamentos arbitrários;
- $\beta_5 = p_j$; $p_j = p$: os trabalhos têm todos a duração p ;
- $\beta_5 = p_j$; $p_{inf} \leq p_j \leq p_{sup}$: todos os trabalhos têm tempos de processamento tal que nenhum p_j é menor do que p_{inf} ou superior a p_{sup} .

O parâmetro $\beta_6 \in \{\emptyset, d_j\}$ caracteriza as *deadlines* (prazos de conclusão dos trabalhos):

- $\beta_6 = \emptyset$: não há *deadlines* no sistema, embora possa haver datas de conclusão;
- $\beta_6 = d_j$: existem *deadlines* que devem ser obrigatoriamente respeitadas.

O parâmetro $\beta_7 \in \{\emptyset, n_j \leq k\}$ descreve o número máximo de operações que constituem um trabalho j .

No caso do sistema *job shop*:

- $\beta_7 = \emptyset$: o número de máquinas necessárias é arbitrário;
- $\beta_7 = (n_j \leq k)$: o número de máquinas necessárias para cada trabalho não é superior a k .

O parâmetro $\beta_8 \in \{\emptyset, no-wait\}$ descreve uma propriedade do tipo “não-espera”:

- $\beta_8 = \emptyset$: a capacidade dos armazéns locais é ilimitada;
- $\beta_8 = no-wait$: não há espaço de armazenamento entre máquinas, pelo que, sempre que um trabalho terminar o seu processamento numa máquina, deve imediatamente iniciar, o seu processamento na máquina seguinte.

O terceiro campo, γ representa um critério de otimização, ou uma medida de desempenho, que podem ser as seguintes:

- Duração máxima (makespan) $C_{\max} = \max \{C_j\}$;
- Tempo de fluxo médio,

$$\bar{F} = 1/n \sum_{j=1}^n F_j$$

ou média ponderada do tempo de fluxo;

$$\bar{F}_w = 1/n \left(\sum_{j=1}^n w_j F_j / \sum_{j=1}^n w_j \right)$$

- Desvio máximo à data de entrega $L_{\max} = \max \{L_j\}$;
- Atraso total

$$T = \sum_{j=1}^n T_j,$$

ou atraso total ponderado

$$T_w = \sum_{j=1}^n w_j T_j$$

Sendo:

- Tempo de conclusão C_j ;
- Tempo de disponibilidade r_j ;
- $F_j = C_j - r_j$, como a soma dos tempos de espera e processamento;
- Data de entrega d_j ;
- Desvio à data de entrega (lateness) $L_j = C_j - d_j$;
- Atraso (tardiness) $T_j = \max \{C_j - d_j, 0\}$;
- Prioridade w_j .

Do ponto de vista prático, podemos interpretar os critérios de otimalidade das seguintes formas:

- Duração máxima (makespan): a sua minimização traduz, simultaneamente, a maximização da utilização das máquinas, e a minimização do tempo máximo de processamento de um conjunto de operações, resultando em menor tempo de resposta aos pedidos dos clientes e, conseqüentemente, um melhor serviço prestado.
- Tempo de fluxo médio: a sua minimização resulta num menor tempo de resposta aos pedidos dos clientes e, conseqüentemente um melhor serviço prestado.
- Desvios às datas de entrega: esta medida de desempenho é muito importante em ambientes make-to-order e normalmente tem um impacto direto na fidelização dos clientes, constituindo ao mesmo tempo uma vantagem competitiva. Como resultado da sua minimização temos um melhor serviço prestado ao cliente.

A tarefa de definir a função objetivo do problema de programação não é fácil. Os objetivos são numerosos, complexos e muitas vezes conflituosos (French, 1982).

É importante cumprir com as datas de entrega assumidas. De outra forma, a empresa pode sofrer penalidades financeiras e a sua imagem pode ser afetada negativamente, podendo mesmo levar à perda do cliente.

É importante também, minimizar a duração total da programação (makespan), porque uma vez que todas as operações estejam processadas, as máquinas ficam disponíveis para outras tarefas.

O custo de um programa de produção está usualmente relacionado com os desvios às datas de entrega, daí que as medidas de desempenho mais óbvias sejam (French, 1982):

- O desvio médio às datas de entrega (L – lateness);
- O desvio máximo às datas de entrega;
- A média dos atrasos (T – tardiness);
- O atraso máximo.

A minimização dos desvios médios ou máximos às datas de entrega é uma medida de desempenho apropriada quando existe um prémio associado ao processamento da operação antes da data de entrega.

A minimização dos atrasos (média ou máximo) é uma medida de desempenho adequada quando o processamento das operações antes da data de entrega não traz qualquer vantagem, mas existem penalidades associadas às entregas tardias.

Um programa cujo valor de uma determinada variável de medida de desempenho γ está no seu mínimo será chamado de ótimo, e o correspondente valor de γ será designado por γ^* . Podemos agora definir um problema de programação Π como um conjunto de parâmetros descritos nesta secção e um critério de otimalidade, sem lhes associar valores numéricos. Uma instância I do problema Π é obtida pela especificação dos valores particulares para todos os parâmetros do problema.

Um algoritmo de programação é um algoritmo que constrói um programa para um dado problema Π .

5.3 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

No modelo com máquinas multi-operação (MPM), há um conjunto de máquinas $\mu_{ij} \subseteq \{M_1, \dots, M_m\}$ associado a uma operação O_{ij} ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, n_i$). Cada operação O_{ij} tem de ser processada por uma máquina do conjunto μ_{ij} . Assim, problemas de programação com máquinas multi-operação, combinam problemas de afetação e sequenciamento: para cada programa, temos a afetação da operação O_{ij} a uma máquina do conjunto μ_{ij} , e a posterior determinação da sequência de processamento das operações afetadas a essa máquina. A operação O_{ij} tem um tempo de processamento p_{ij} . Não é permitida interrupção. Além disso, as seguintes restrições têm de ser cumpridas:

- Nenhuma máquina pode processar mais de uma operação ao mesmo tempo;
- Nenhum trabalho pode ser processado por mais de uma máquina ao mesmo tempo.

O caso geral de uma oficina com *MPM*, é designada por *GMPM*, há uma máquina pertencente ao conjunto μ_{ij} associada a cada operação. O problema *MPM job shop*, é designado por *JMPM*, e corresponde a um caso especial do *GMPM* (Brucker P. , 2007).

O caso em estudo é um problema do tipo de *job shop* com máquinas multi-operação.

A implantação fabril é do tipo *job shop* porque cada trabalho tem mais do que uma operação, as relações de precedência são em sequência, havendo gamas operatórias diferentes para trabalho diferentes.

As máquinas são do tipo multi-operação, porque temos a possibilidade de realizar diferentes operações na mesma máquina.

Por exemplo, podemos verificar através da gama operatória do modelo *P02-4382*, que as operações 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, e 18 podem ser realizadas em qualquer máquina de 1 agulha, desde que o operador tenha a devida qualificação.

Os postos de trabalho estão configurados por um estudo prévio realizado pelo planeamento.

Os *PTs* são diferentes, pois dependem da combinação operador/máquina.

De acordo com a classificação descrita em 5.2, foi definida a seguinte notação matemática para o problema em estudo:

$J(MPM)|rj|\sum w_j T_j$; lê-se da seguinte forma: programação de trabalhos em ambiente *job shop* com máquinas multi-operação, onde os trabalhos chegam em diferentes instantes de tempo, com o objetivo de minimizar a soma ponderada dos atrasos das encomendas.

O problema de programação em ambiente *job shop* com máquinas multi-operação é um caso especial do problema *job shop* flexível, no qual o tempo de processamento de cada operação, p_{ij} , não depende da máquina onde é processada (Brucker, Jurisch, & Krämer, 1997) e uma generalização do problema *job shop* clássico.

5.4 COMPLEXIDADE DO PROBLEMA

Os problemas determinísticos de programação fazem parte de um conjunto vasto de problemas de otimização combinatória.

A análise da complexidade dos problemas permite a sua classificação de acordo com a sua dificuldade. Nalguns casos, permite estabelecer se é possível resolver um determinado problema de programação (encontrar a programação ótima) em tempo polinomial. No entanto, é sabido, desde há algum tempo, que existe uma classe alargada de problemas de otimização combinatória para os quais, muito provavelmente, não existem algoritmos de otimização eficientes.

Num ambiente de *job shop* a programação é um problema combinatório de elevada complexidade. Para um problema de sequenciamento de n trabalhos em m máquinas são possíveis $(n!)^m$ soluções. Ou seja, para um problema com 15 trabalhos em 36 máquinas, teríamos $(15!)^{36}$ de soluções possíveis. Mesmo quando $m=1$ teríamos $15! = 1,31 \times 10^{12}$ soluções.

Apesar de nem todas as soluções serem possíveis, pois violam relações de precedência, o número de soluções viáveis ainda é extremamente elevado, o que levaria os computadores a uma infinidade de tempo para resolver este problema, sendo impraticável o uso de um método de procura da solução ótima através da enumeração completa.

O problema de programação em *job shop* é classificado por Garey et al. (Garey, Johnson, & Sethi, 1976) como *NP-difícil*. Este tipo de problema tem a designação “*NP-difícil*” porque não são conhecidos algoritmos eficientes devido à sua complexidade exponencial.

6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é feita uma breve revisão bibliográfica do problema de *job shop* com máquinas multi-operação (*Multi-Purpose -Machines Job Shop*).

Desde os anos 50 que é conhecida a aplicação da programação (*scheduling*) à área da produção, onde é necessário tomar decisões sobre a afetação de recursos no fabrico de bens. A pesquisa nesta área, tem sido tradicionalmente centrada em áreas distintas das indústrias transformadoras. Duas famílias de problemas têm sido estudadas aprofundadamente: a programação em ambiente *flow shop*, onde os trabalhos visitam um conjunto de máquinas dispostas em sequência até que todas as operações sejam executadas, e a programação em ambiente *job shop*, onde as máquinas são agrupadas em centros de trabalho de acordo com as suas funções, e os trabalhos visitam as máquinas em diferentes ordens.

A partir de meados da década de 1970, a aplicação de metodologias de programação em ambiente *job shop*, tem sido amplamente abordada. A crescente procura de produtos específicos, por parte dos clientes, implica a produção em lotes pequenos e produção por encomenda. Consequentemente, a necessidade de partilhar e coordenar recursos produtivos, aumentou o interesse na resolução deste tipo de problemas de programação na indústria (Reklaitis, 1992).

A programação de atividades que competem por recursos limitados durante um tempo finito é um problema generalizado, que as empresas, grandes ou pequenas têm de resolver. Metodologias de solução têm sido amplamente estudadas nos vários campos da engenharia, ciências da computação, ciências de gestão e negócios, fazendo com que a literatura sobre a programação seja extensa, diversa e difusa (Reklaitis, 1992), (Brown, Marin, & Scherer, 1995). Estas metodologias podem ser classificadas como exatas ou aproximadas, dependendo se buscam a solução ótima ou uma solução aproximada de um problema, respetivamente.

Exceto para uma minoria de problemas para os quais existem algoritmos de complexidade polinomial, a maioria dos problemas de programação são *NP*-difícil, o que significa que os requisitos computacionais para a obtenção de uma solução ideal, cresce exponencialmente à medida que o tamanho do problema aumenta., o que significa que os métodos exatos só podem ser aplicados com sucesso a problemas de pequena dimensão (French, 1982). Para de problemas com maior dimensão, a solução para a abordagem descrita na literatura, faz uso de heurísticas, meta-heurísticas (busca tabu, simulated annealing, ou algoritmos genéticos, entre outros), inteligência artificial (ou seja programação por restrições e redes neurais) ou solução aproximada, utilizando modelos de programação inteira mista linear (*MILP*), como o relaxamento de Lagrange (Jain & Meeran, 1998).

Foi reconhecido por muitos investigadores que os problemas de programação podem ser resolvidos usando técnicas de programação matemática, e uma das formas mais comuns de formulação para II_I , é a programação linear inteira mista (*MIP* ou *MILP*) de Manne (Manne, 1960). O formato *MIP* é simplesmente o de um programa linear com um conjunto de restrições e uma função objetivo, mas com a restrição adicional de que algumas variáveis de decisão, são inteiros. Aqui as variáveis são binárias e são usadas para implementar restrições disjuntivas. Apesar da sua elegância concetual, o número de variáveis aumenta exponencialmente (Bowman, 1959) e mesmo a adoção de melhores e mais compactas formulações, ainda assim, necessitam de um grande número de restrições (Manne, 1960). Giffler e Thompson (Giffler & Thompson, 1960) também mencionam que os programas inteiros não levaram a métodos práticos para encontrar soluções, enquanto French (French, 1982) expressa a visão de que, a formulação de programação inteira de problemas de programação é computacionalmente inviável. Nemhauser e Wolsey (Nemhauser & Wolsey, 1988) e Blazewicz et al. (Blazewicz, Dror, & Weglarz, 1991)

ênfatizam ainda mais estas dificuldades e indicam que modelos de programação matemática não atingiram ainda um avanço necessário à resolução de problemas de programação.

Os algoritmos *Branch and Bound* (BB) usam uma estrutura dinâmica de árvore como um meio para representar o espaço de soluções para todas as sequências possíveis.

As duas estratégias de partição mais comuns são, a Geração de Programações Ativas (*Generating Active Schedules (GAS)*) e Resolução dos Conflitos Essenciais (*Settling Essential Conflicts (SEC)*) (Lageweg, Lenstra, & Rinnooy Kan, 1977), (Barker & McMahon, 1985). A estratégia *GAS* deriva do trabalho realizado por Giffler e Thompson (Giffler & Thompson, 1960). Aqui cada nodo consiste numa programação parcial e o mecanismo de partição corrige o conjunto de operações da próxima sequência, enquanto na partição *SEC* a operação O_i determina se deve ser sequenciado antes da operação O_j ou vice-versa. Barber e McMahon (Barker & McMahon, 1985) dizem que a *SEC* oferece maior flexibilidade e, em geral, tem melhores resultados que a *GAS*.

Limites apertados são, portanto, essenciais para as técnicas *BB*, assim como evitar a necessidade de pesquisar grandes secções do espaço de soluções. Muitos tipos de limites são descritos na literatura. Embora Akers (Akers, 1956), Brucker (Brucker P. , 1988) e Brucker e Jurisch (Brucker & Jurisch, 1993) gerassem *Lower Bounds (LBs)* para reduzir Π_j em sub-problemas de dimensionalidade $2 \times m$, $2 \times m$ e $3 \times m$, respetivamente, a formulação mais popular é a decomposição de um conjunto operações em m instâncias de máquinas ($1|r_j/L_{max}$). O limite para uma máquina única é obtido a partir do *makespan* do processador gargalo (*bottleneck*) que é o limite mais forte de todas as máquinas. Apesar do facto de este problema ser *NP*-difícil (Lenstra, Rinnooy Kan, & Brucker, 1977) foram desenvolvidas boas técnicas (Potts, 1980), (Carlier, 1982).

Embora os métodos de aproximação não garantam alcançar soluções exatas, eles são capazes de obter soluções próximas da ótima, em tempos de computação moderados e são, portanto, mais adequados para a resolução de problemas maiores. A importância dos métodos de aproximação é referida por Glover e Greenberg (Glover & Greenberg, 1989), que sugerem que a procura da árvore dirigida é totalmente insatisfatória para problemas combinatórios difíceis. Seguidamente considerar-se-ão as quatro principais categorias das técnicas de aproximação: regras de prioridade de despacho (*priority dispatch rules*),

heurísticas baseadas no gargalo (*bottleneck based heuristics*), inteligência artificial, e métodos de pesquisa local

Procedimentos de aproximação aplicados a II_j foram desenvolvidos com base em regras de prioridade de despacho (*PDRS*), e devido à sua facilidade de implementação e a uma redução substancial do tempo de computação, estas tornaram-se muito populares (Baker, 1974), (French, 1982), (Morton & Pentico, 1993). Em cada passo as sequências das operações capazes de serem expandidas são classificadas através da sua prioridade. A mais prioritária é expandida. Geralmente são executados vários passos até que seja obtida uma solução válida.

Os primeiros trabalhos sobre *PDRS* foram feitos por Jackson (Jackson, 1955), (Jackson, 1957), Smith (Smith, 1956), Rowe e Jackson (Rowe & Jackson, 1956), Giffler e Thompson (Giffler & Thompson, 1960) e Gere (Gere, 1966). Com particular interesse temos o algoritmo de Giffler e Thompson (Giffler & Thompson, 1960). Este é considerado atualmente como a base comum de todas as *PDRS*, e a sua importância deriva do facto de gerar programações ativas.

O mais conhecido e abrangente estudo nesta área é de Panwalker e Iskander (Panwalker & Iskander, 1977), onde 113 *PDRS* são apresentados, analisados e classificados.

Podemos apresentar os seguintes exemplos, que podem ser usados como regras de prioridade de despacho:

- SPT (Shortest Processing Time – tempos de processo mais curtos): A operação com menor tempo de execução é a que tem prioridade.
- LPT (Longest Processing Time – tempos de processo mais longos): A operação com maior tempo de execução é a que tem prioridade.
- EDD (Earliest Due Date – data de entrega mais próxima): A operação com tempo de expiração mais próximo tem prioridade.
- FCFS (First-Come-First-Serve): A primeira operação a chegar à fila é a primeira a ser executada.
- SWPT (Shortest Weighted Processing Time – tempo de processamento com menor peso): A operação com menor peso tem prioridade (o peso é atribuído à operação conforme o seu custo).

Uma conclusão comum a muitos estudos, e inicialmente previsto por Jeremiah *et al.* (Jeremiah, Lalchandani, & Schrage, 1964) é que para o medir o makespan, nenhuma regra individualmente tem bom desempenho. O mais recente estudo comparativo de Chang *et al.* (Chang, Sueyoshi, & Sullivan, 1996) avalia o desempenho de 42 *PDRS*, usando um modelo de programação linear. A sua análise indica que a regra do menor tempo de processamento (*SPT*) tem constantemente um bom desempenho, enquanto a regra do maior tempo de processamento (*LPT*) tem constantemente um mau desempenho.

Como as regras individualmente não têm um bom desempenho, e não fornecem nenhuma conclusão clara em relação ao critério do *makespan*, foram formuladas heurísticas com maior envolvimento. Por exemplo, o algoritmo de Viviers (Viviers, 1983) incorpora três níveis de classes de prioridades dentro da heurística *SPT*. O método mais comum para melhorar o desempenho da solução, é ter uma combinação probabilística das *PDRS* individuais. Os primeiros exemplos dessa estratégia são de Crowston et al. (Crowston, Glover, Thompson, & Trawick, 1963) e Fisher e Thompson (Fisher & Thompson, 1963). Lawrence (Lawrence, 1984) compara o desempenho de dez regras de despacho individuais com uma combinação aleatória de tais regras e mostra que o método combinado fornece resultados muito superiores, mas requer um tempo de computação muito maior.

Contrariamente às técnicas de *branch and bound*, as técnicas *PDRS* elegem apenas uma operação para fazer parte da sequência que está a ser criada. As técnicas *branch and bound* avaliam todas as operações possíveis, implícita ou explicitamente

Durante muitos anos, a única solução viável dos métodos de aproximação, foram as regras de prioridade de despacho. Atualmente com a existência de computadores mais poderosos, bem como um maior rigor de análise das técnicas implementadas (Fisher & Rinnooy Kan, 1988), tem permitido desenvolver abordagens mais sofisticadas, que podem preencher a lacuna entre as *PDRS* e os métodos exatos. Um exemplo deste tipo de abordagem é o *Shifting Bottleneck Procedure* (procedimento para mudança do gargalo) (*SBP*) proposto por Adams et al. (Adams, Balas, & Zawack, 1988).

O *SBP* é caracterizado pelas seguintes tarefas: identificação do subproblema, seleção do gargalo, solução do subproblema, e reotimização da programação. A estratégia atual envolve relaxar o problema II_j em m problemas de uma máquina e resolver iterativamente cada subproblema com uma máquina $(1|r_j|L_{max})$ utilizando a abordagem de Carlier (Carlier,

1982). Cada solução para uma máquina é comparada com as outras, e as máquinas são classificadas com base na sua solução (*makespan*). Este método resolve um subproblema com uma máquina, é resolvido para cada máquina ainda não sequenciada, e o resultado é usado para encontrar a máquina gargalo (maior *makespan*). Sempre que uma nova máquina é sequenciada, toda a sequência anterior deve ser submetida novamente à otimização.

A principal contribuição deste método é a forma como o relaxamento de uma máquina usado para decidir a ordem em que as máquinas devem ser sequenciadas, Adams et al. (Adams, Balas, & Zawack, 1988) referem-se a esta técnica como *SBI*. A técnica *SBI* também foi aplicada aos nodos de uma árvore de enumeração parcial (*SBIT*) permitindo considerar diferentes sequências de máquinas. A análise computacional dos componentes individuais de *SBP* é fornecida por Holtsclaw e Uzsoy (Holtsclaw & Uzsoy, 1996) e Demirkol et al. (Demirkol, Mehta, & Uzsoy, 1997), onde referem que a qualidade da solução e o tempo de computação são afetados significativamente pelo roteamento da estrutura.

Os problemas estudados na literatura estão próximos dos problemas de programação com máquinas multi-operação. Graham (Graham R. L., 1966) considerou os problemas de flow shop com máquinas paralelas como uma generalização do problema clássico de flow shop. Ele assumiu que existe um conjunto M_j de máquinas idênticas para o processamento das operações O_{ij} ($i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$) com $|M_j| = |M_k|$ para $1 \leq j, k \leq m$. Salvador (Salvador, 1973) generaliza este problema com o chamado “*flexible flow shop*”. Mais uma vez, há um conjunto M_j de máquinas paralelas idênticas para processar as operações O_{ij} ($i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$), mas agora temos $|M_j| \neq |M_k|$ para $j \neq k$.

Os primeiros investigadores a estudar o problema de programação em ambiente *job shop* com máquinas multi-operação foram Brucker & Schlie (Brucker & Schlie, 1990). Estes criaram um algoritmo para o problema, de tempo polinomial, que minimizava o *makespan*, quando o número de postos de trabalhos é igual a 2, ou seja, para o problema $J(MPM)|n = 2|C_{max}$.

Os investigadores Hoitomt, Luh, e Pattipati (Hoitomt, Luh, & Pattipati, 1990), estudaram uma generalização do problema de programação com máquinas multi-operação. Eles consideraram:

- Períodos de tempo onde nem todas as máquinas estão disponíveis,

- Os tempos de processamento que dependem das máquinas que executam as operações,
- Interrupção das operações.

Estes investigadores sugerem um algoritmo para calcular soluções heurísticas do problema.

Lower bounds são calculados utilizando a relaxação de Lagrange.

A disseminação global da técnica de pesquisa tabu (*TS*), decorre dos trabalhos realizados por Glover (Glover, 1977), (Glover, 1986), (Glover, 1989), (Glover, 1990). Essencialmente a busca tabu consiste numa técnica de melhoria de solução, que considera estruturas que permitem explorar com eficiência o histórico de todo o processo de busca. A *TS* tem como característica básica o facto de ser um método genérico que pode usar um tipo de heurística a cada passo e tendo como objetivo, escapar das armadilhas dos ótimos locais ainda distantes de um ótimo global (faz tabu).

O algoritmo evita movimentos na vizinhança que parecem conter soluções que duplicariam acontecimentos anteriores. Porém um “esquecimento estratégico” é atribuído a esse algoritmo através de uma memória de curto prazo capaz de armazenar os últimos *t* movimentos tabu. No entanto o estado de um movimento tabu não é absoluto. Os critérios de aspiração permitem que um movimento tabu possa ser selecionado se atingir um determinado nível de qualidade.

As funções de memória de médio e longo prazo, também podem ser aplicadas para fornecer uma ampla exploração do espaço de busca. Estratégias intermediárias com memória de médio prazo são baseadas em modificar as regras de escolha de soluções historicamente boas em regiões atrativas e intensificar a busca nessas regiões. A memória de longo prazo diversifica a busca em áreas não exploradas. Descrições mais detalhadas são dadas em Glover e Laguna (Glover & Laguna, 1997).

Laguna et al. (Laguna, Barnes, & Glover, 1991), (Laguna, Barnes, & Glover, 1993), criam três estratégias de busca tabu com base em definições simples de movimento. Laguna e Glover (Laguna & Glover, 1993) analisaram estas duas obras e indicaram que a inclusão de transferência de trabalho, além da troca de trabalhos, melhora a qualidade da solução, reduzindo o tempo de computação e permitindo a solução de problemas de maior dimensão.

Uma contribuição notável foi dada por Taillard (Taillard, 1994) incorporando uma estratégia que acelera a busca, evitando a necessidade de recalcular os tempos de início de todas as operações, para determinar o custo do movimento. No entanto, esta estratégia só é eficaz quando há trabalhos semi-ativos na programação e há incapacidade de encontrar um *makespan* exato para o movimento, portanto esta estratégia só pode ser considerada como de estimação rápida.

Várias abordagens de busca tabu foram também aplicadas a generalizações de Π_J . Os exemplos incluem Hurink *et al.* (Hurink, Jurisch, & Thole, 1994) com máquinas multi-operação. Brucker e Krämer (Brucker & Krämer, 1995) para multi-processador de tarefas em processadores dedicados. Dauzère-Pérès e Paulli (Dauzère-Pérès & Paulli, 1997) para o geral multi-processador Π_J , Brucker e Neyer (Brucker & Neyer, 1997) para o multi-modo Π_J que é uma combinação do multi-processador de tarefas e máquinas multi-operação Π_J e Baar *et al.* (Baar, Brucker, & Knust, 1997) para o problema de programação de projetos com recursos limitados.

7. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL E ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo apresenta-se o estudo proposto como solução para o problema, utilizando como base o algoritmo de Giffler e Thompson desenvolvido num ambiente do EXCEL. Utilizam-se dados reais da empresa para resolver o problema de teste e, analisam-se os resultados obtidos.

7.1 INTRODUÇÃO

Os algoritmos são desenvolvidos para resolver os problemas das programações de produção minimizando as suas durações. Os algoritmos geram qualquer uma, ou todas, as programações possíveis de um determinado subconjunto, chamadas programações ativas. Este subconjunto contém, por sua vez, um subconjunto das programações ótimas. É igualmente demonstrado que todas as programações ótimas são equivalentes a uma programação ativa ótima. A experiência computacional com os algoritmos mostra que é prático, em problemas de tamanho pequeno, para gerar o conjunto completo de todas as

programações ativas e para escolher as programações ótimas diretamente a partir deste conjunto e, quando isso não é prático, a amostra aleatória a partir do conjunto de todas as programações ativas e, assim, produzir programações que são ótimas com uma probabilidade máxima, como é desejado. O algoritmo básico pode também gerar programações específicas produzidas pelas bem conhecidas, regras de carregamento das máquinas (Giffler & Thompson, 1960).

7.2 O ALGORITMO DE GIFFLER E THOMPSON

Para a resolução do nosso problema, utilizar-se-á uma adaptação do algoritmo de B. Giffler e G. L. Thompson, que seguidamente se descreve.

Os algoritmos de Giffler e Thompson (Giffler & Thompson, 1960) podem-se considerar como a base de todas as heurísticas baseadas em regras de prioridade.

Giffler e Thompson propuseram dois algoritmos para gerar programações: programações ativas e programações de não-atrasados. Uma programação de não atrasados tem a propriedade de que nenhuma máquina fica inativa se houver um trabalho disponível para processamento. Uma programação ativa tem a propriedade de que nenhuma operação pode ser iniciada mais cedo sem provocar um atraso noutras ou violar as restrições tecnológicas. As programações ativas formam um conjunto maior que inclui como subconjunto as programações de não-atrasados. O procedimento de geração de programações de Giffler e Thompson explora o espaço de busca por meio de uma estrutura de árvore. Os nodos da árvore representam as programações parciais, os ramos representam as escolhas possíveis, e as folhas das árvores são o conjunto de programações. Para uma programação parcial, o algoritmo, essencialmente, identifica todos os conflitos de processamento, quer dizer, identifica operações que competem pela mesma máquina, e em cada etapa, usa um procedimento de enumeração para resolver esses conflitos de todas as formas possíveis. Ao contrário, as heurísticas resolvem esses conflitos com regras de prioridade de despacho; as heurísticas especificam uma regra de prioridade para seleccionar uma operação entre as operações em conflito.

O algoritmo de Giffler e Thompson é aplicado a n ordens de fabrico e a m máquinas. Este algoritmo permite a construção de programações ativas.

Neste algoritmo, programa-se uma operação de cada vez. Uma operação pode ser programada se dentro da sua gama operatória todas as operações que a precedem já foram programadas. Se existirem $n \times m$ operações, o algoritmo terá $n \times m$ iterações ou estados.

Para descrever o algoritmo de Giffler e Thompson usamos a seguinte notação:

- Seja PS_t uma programação parcial que contem t operações programadas;
- Seja S_t o conjunto de operações programáveis no estado t , correspondendo a uma dada PS_t ;
- Seja $s(i)$ e $c(i)$ o tempo mais cedo em que cada operação $i \in S_t$ pode ser iniciada e concluída, respetivamente.

Passos do algoritmo de geração de programações ativas de Giffler e Thompson:

1. Seja $t = 0$ com $PS_t = \emptyset$. S_t é o conjunto de todas as operações sem predecessores, isto é, a primeira operação de cada ordem de fabrico.
2. Determinar o tempo mínimo para a conclusão c^* em S_t e a máquina m^* na qual c^* pode ser realizada. Se houver mais do que uma máquina onde c^* possa ser processada seleccionar a máquina com menor carga, e como critério de desempate, a máquina com menor número de caixas em fila de espera.
3. Para cada operação $i \in S_t$, que requeira a máquina m^* e em que $s(i) < c^*$, calcular um índice de prioridade de acordo com uma regra de prioridade específica. Encontrar as operações com menor índice e adicionar esta operação a PS_t o mais cedo possível, criando assim uma nova programação parcial PS_{t+1} .
4. Para PS_{t+1} , atualizar os dados da seguinte forma:
 - a. Remover a operação i de S_t .
 - b. Criar S_{t+1} através da adição a S_t da operação que está imediatamente a seguir a i na ordem de fabrico (exceto se i completar a ordem de fabrico).

- c. Fazer $t = t + 1$.
5. Ir para o passo 2 até ser gerada uma programação completa.

As regras de prioridade a introduzir no passo 3 são as seguintes:

1. Em primeiro lugar, as operações identificadas como urgentes.
2. Em segundo lugar, as operações com data de entrega mais próxima.
3. Em terceiro lugar, as operações com menor tempo de processamento (SPT) para assim, minimizarmos a média do tempo de fluxo total.

Como o nosso objetivo é a minimização da soma ponderada dos atrasos das encomendas, temos de garantir que nenhuma máquina fica inativa se houver um trabalho disponível para processamento. Para tal, iremos utilizar o algoritmo acima descrito, modificando os passos 2 e 3, com a finalidade de produzir programações de não atrasados (subconjunto das programações ativas), da seguinte forma:

Passo 2: Determinar o menor tempo de início s^* em S_t e a máquina m^* na qual s^* pode ser realizada. Se houver mais do que uma máquina onde s^* possa ser processada selecionar a máquina com menor carga, e como critério de desempate, a máquina com menor número de caixas em fila de espera.

Passo 3: Para cada operação $i \in S_t$, que requeira a máquina m^* e em que $s(i) = s^*$, calcular um índice de prioridade de acordo com uma regra de prioridade específica. Encontrar as operações com menor índice e adicionar esta operação a PS_t o mais cedo possível, criando assim uma nova programação parcial PS_{t+1} .

Podemos dizer que, para produzir programações de não atrasados, foi apenas necessário alterar os passos 2 e 3 do algoritmo de Giffler e Thompson, de forma a determinar o menor tempo de início possível, s^* , das operações programáveis, e programar a operação cujo tempo de início coincide com s^* .

7.3 O PROBLEMA DE TESTE

O problema de teste é baseado no levantamento de dados em ambiente real, considerados pela empresa, como representativos da complexidade do problema.

Na tabela 9, temos os inputs fornecidos pelo *ERP* WinGicc no momento t , referentes à situação de cada um dos 36 PTs. Para cada PT temos o nº da caixa em baixo e em cima, assim como o seu tempo de processamento.

Tabela 8 - Dados de entrada nos PTs

PT	BAIXO		CIMA	
	Caixa	t	Caixa	t
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8	2	15,48		
9	5	13,46		
10	61	6,90	8	13,89
11				
12				
13	20	15,30	70	18,00
14	25	6,90		
15	50	6,30	60	12,60
16				
17	49	4,50		
18	37	12,60	41	18,00
19	38	3,71		
20	40	13,76	22	17,20
21				
22	43	6,30	76	18,00
23				
24	52	10,40	35	13,00
25	79	2,80	66	11,20
26	57	6,90	19	9,24
27	53	9,35	72	17,00
28				
29	59	4,25	29	17,00
30	34	8,40		
31				
32	16	17,00		
33				
34	63	2,70	17	17,56
35				
36				

Na tabela 10, temos os inputs fornecidos pelo *ERP* da Amishoes no momento t , para o Buffer. Para cada caixa, temos a indicação em que $PT(s)$ poderão ser realizadas as próximas duas operações ($PT1$, $PT2$), assim como o tempo previsto para a sua execução ($t1$, $t2$). A mesma informação, também é dada para as próximas duas operações a realizar pelas caixas “em cima” e “em baixo” dos PTs. Esta tabela também indica as datas de entrega, o fator de prioridade (1 a 5, sendo o factor 1, o mais prioritário), e a prioridade.

A prioridade é calculada pela seguinte expressão:

$$Prioridade = (Ano + Mês * 50 + Dia) * Factorprioridade$$

Nota: esta expressão foi encontrada em parceria com gerência da empresa.

Tabela 9 - Dados de entrada no Buffer

Nº caixa	PT 1					t1	PT 2					t2	Data Entrega	Fator Prioridade	Prioridade
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5				
1	10	14				13,8	9	36				13,46	26-05-2011	5	11435
2							30					21	25-05-2011	5	11430
3														5	9750
4	10	14				13,80	9	36				13,46	14-05-2011	5	11375
5							27	29				17,00	15-05-2011	5	11380
6														5	9750
7	8	20				17,20	30					21,00	20-05-2011	5	11405
8							9	36				13,46	14-05-2011	5	11375
9														5	9750
10	9	36				13,40	27	29				17,00	26-05-2011	5	11435
11	9	36				13,40	27	29				17,00	14-05-2011	5	11375
12	10	14				13,80	9	36				13,46	28-05-2011	5	11445
13														5	9750
14	19					5,30	23	32				17,00	31-05-2011	5	11460
15	8	20				17,20	30					21,00	31-05-2011	5	11460
16							13	16	22			18,00	20-05-2011	5	11405
17							15					12,60	14-05-2011	5	11375
18	25					11,20	19					5,30	31-05-2011	5	11460
19							9	36				13,46	15-05-2011	5	11380
20							8	20	30			17,20	26-05-2011	5	11435
21	9	36				13,40	27	29				17,00	31-05-2011	5	11460
22							9	36				13,46	26-05-2011	5	11435
23	13	18	22			18,00	8	20	36			17,20	31-05-2011	5	11460
24	25					11,20	19	35				5,30	30-05-2011	5	11455
25							9	25				13,46	14-05-2011	5	11375
26														5	9750
27	9	36				13,40	27	29				17,00	29-05-2011	5	11450
28	13	18	22			18,00	8	20	19			17,20	30-05-2011	5	11455
29							8					17,00	29-05-2011	5	11450
30														5	9750
31														5	9750
32							34					17,56	15-05-2011	5	11380
33	23	32				17,00	13	18	22			18,00	31-05-2011	5	11460
34							9	25				13,46	14-05-2011	5	11375
35							26					9,24	15-05-2011	5	11380
36	15					12,60	32					13,89	31-05-2011	5	11460
37							8	20				17,20	30-05-2011	5	11455
38							23					13,89	26-05-2011	5	11435
39														5	9750
40							8	20	30			17,20	15-05-2011	5	11380
41							27	29				17,00	27-05-2011	5	11440
42	9	36				13,40	27	29				17,00	30-05-2011	5	11455
43							8	20				17,20	22-05-2011	5	11415
44														5	9750
45														5	9750
46	8	20				17,20	30					21,00	22-05-2011	5	11415
47							32					13,89	16-05-2011	5	11385
48	9	36				13,40	27	29				17,00	28-05-2011	5	11445
49							30					21,00	26-05-2011	5	11435
50							27	29				17,00	29-05-2011	5	11450
51	23	32				17,00	13	18	22			18,00	26-05-2011	5	11435
52							26					9,24	14-05-2011	5	11375
53							25					11,20	15-05-2011	5	11380
54														5	9750
55	27	29				17,00	25					11,20	30-05-2011	5	11455
56														5	9750
57							28					7,00	28-05-2011	5	11445
58														5	9750
59							25					11,20	26-05-2011	5	11435
60							27	29				17,00	31-05-2011	5	11460
61							9	36				13,46	30-05-2011	5	11455
62														5	9750
63							15					12,60	30-05-2011	5	11455
64	9	36				13,40	27	29				17,00	31-05-2011	5	11460
65														5	9750
66							19					7,00	16-05-2011	5	11385
67	27	29				17,00	25					11,20	31-05-2011	5	11460
68	10	14				13,80	9	36				13,46	31-05-2011	5	11460
69														5	9750
70							8	20				17,20	24-05-2011	5	11425
71														5	9750
72							25					11,20	16-05-2011	5	11385
73	9	36				13,40	27	29				17,00	27-05-2011	5	11440
74														5	9750
75	23	32				17,00	13	18	22			18,00	29-05-2011	5	11450
76							8	20				17,20	14-05-2011	5	11375
77	27	29				17,00	25					11,20	26-05-2011	5	11435
78	27	29				17,00	25					11,20	28-05-2011	5	11445
79							19					5,30	30-05-2011	5	11455
80	10	14				13,80	9	36				13,46	15-05-2011	5	11380

A aplicação desenvolvida usa uma lista de eventos e uma fila de espera.

Tabela 10 - Lista de eventos

Tempo	PT	Cx
3,71	19	38
4,5	17	49
6,9	14	25
8,4	30	34
13,46	9	5
14	25	66
15,48	8	2
16,14	26	19
17	32	16
18,9	15	60
20,26	34	17
20,79	10	8
21,25	29	29
23,4	24	35
24,3	22	76
26,35	27	72
30,6	18	41
30,96	20	22
33,3	13	70

Na tabela 11, temos a lista de eventos momento “zero”, ou seja, refere-se às caixas que estão nos *PTs*.

Da leitura da tabela, verificamos, por exemplo, que o *PT* 19 vai terminar o processamento da caixa 38 no minuto 3,71, o *PT* 17 vai terminar o processamento da caixa 49 no minuto 4,5, e assim sucessivamente, até ao *PT* 13 que vai terminar o processamento da caixa 70 no minuto 33,3.

Tabela 11 - Fila de espera

PT	Caixa	p	rd	Prio	PT2	PT	Caixa	p	rd	Prio	PT2
8	7	17,2	0	11405	1	20	70	17,2	33,3	11425	2
8	46	17,2	0	11415	1	22	28	18	0	11455	1
8	15	17,2	0	11460	1	22	23	18	0	11460	1
8	43	17,2	6,3	11415	2	22	16	18	17	11405	2
8	37	17,2	12,6	11455	2	23	51	17	0	11435	1
8	40	17,2	13,76	11380	2	23	75	17	0	11450	1
8	20	17,2	15,3	11435	2	23	33	17	0	11460	1
8	29	17	21,25	11450	2	23	38	13,89	3,71	11435	2
8	76	17,2	24,3	11375	2	25	24	11,2	0	11455	1
8	70	17,2	33,3	11425	2	25	18	11,2	0	11460	1
9	11	13,4	0	11375	1	25	59	11,2	4,25	11435	2
9	10	13,4	0	11435	1	25	25	13,46	6,9	11375	2
9	73	13,4	0	11440	1	25	34	13,46	8,4	11375	2
9	48	13,4	0	11445	1	25	53	11,2	9,35	11380	2
9	27	13,4	0	11450	1	25	72	11,2	26,35	11385	2
9	42	13,4	0	11455	1	26	52	9,24	10,4	11375	2
9	21	13,4	0	11460	1	26	35	9,24	23,4	11380	2
9	64	13,4	0	11460	1	27	77	17	0	11435	1
9	25	13,46	6,9	11375	2	27	78	17	0	11445	1
9	61	13,46	6,9	11455	2	27	55	17	0	11455	1
9	34	13,46	8,4	11375	2	27	67	17	0	11460	1
9	19	13,46	16,14	11380	2	27	50	17	6,3	11450	2
9	8	13,46	20,79	11375	2	27	5	17	13,46	11380	2
9	22	13,46	30,96	11435	2	27	60	17	18,9	11460	2
10	4	13,8	0	11375	1	27	41	17	30,6	11440	2
10	80	13,8	0	11380	1	28	57	7	6,9	11445	2
10	1	13,8	0	11435	1	29	77	17	0	11435	1
10	12	13,8	0	11445	1	29	78	17	0	11445	1
10	68	13,8	0	11460	1	29	55	17	0	11455	1
13	28	18	0	11455	1	29	67	17	0	11460	1
13	23	18	0	11460	1	29	50	17	6,3	11450	2
13	16	18	17	11405	2	29	5	17	13,46	11380	2
14	4	13,8	0	11375	1	29	60	17	18,9	11460	2
14	80	13,8	0	11380	1	29	41	17	30,6	11440	2
14	1	13,8	0	11435	1	30	49	21	4,5	11435	2
14	12	13,8	0	11445	1	30	40	17,2	13,76	11380	2
14	68	13,8	0	11460	1	30	20	17,2	15,3	11435	2
15	36	12,6	0	11460	1	30	2	21	15,48	11430	2
15	63	12,6	2,7	11455	2	32	51	17	0	11435	1
15	17	12,6	20,26	11375	2	32	75	17	0	11450	1
16	16	18	17	11405	2	32	33	17	0	11460	1
18	28	18	0	11455	1	36	11	13,4	0	11375	1
18	23	18	0	11460	1	36	10	13,4	0	11435	1
19	14	5,3	0	11460	1	36	73	13,4	0	11440	1
19	79	5,3	2,8	11455	2	36	48	13,4	0	11445	1
19	66	7	14	11385	2	36	27	13,4	0	11450	1
20	7	17,2	0	11405	1	36	42	13,4	0	11455	1
20	46	17,2	0	11415	1	36	21	13,4	0	11460	1
20	15	17,2	0	11460	1	36	64	13,4	0	11460	1
20	43	17,2	6,3	11415	2	36	61	13,46	6,9	11455	2
20	37	17,2	12,6	11455	2	36	19	13,46	16,14	11380	2
20	40	17,2	13,76	11380	2	36	8	13,46	20,79	11375	2
20	20	17,2	15,3	11435	2	36	22	13,46	30,96	11435	2
20	76	17,2	24,3	11375	2						

A tabela 12 representa a fila de espera de caixas no mesmo momento “zero”.

Nesta tabela podemos verificar, por exemplo, que a caixa 7 que está no *buffer*, está à espera de ser processada, $rd = 0$ (rd - *release date*) no *PT* 8 com o tempo de processamento de 17,2 minutos. A caixa 43 que está no *PT* 22, vai terminar o seu processamento em 6,3 minutos ($rd = 6,3$), e depois de libertada vai para o *PT* 8 com o tempo de processamento (p) de 17,2 minutos, com essa prioridade, sendo que esta, é a segunda operação ($PT2 = 2$).

Poderíamos continuar a leitura da fila de espera até à caixa 22 que se encontra no *PT* 20, que vai terminar o seu processamento em 30,96 minutos ($rd = 30,96$), e depois de libertada vai para o *PT* 36 que terá um tempo de processamento 13,46 minutos, na prioridade indicada, sendo esta a segunda operação a ser executada nesta caixa.

Relativamente à tabela 13, temos os resultados de saída, ou seja, temos o sequenciamento de carregamento dos *PTs*, calculado pelo algoritmo utilizado.

Tabela 12 -Resultados de saída

PT	Caixa	Hora Ini	Hora Fim
8	2	0,00	15,48
8	7	15,48	32,68
8	15	32,68	49,88
8	37	49,88	67,08
8	29	67,08	84,08
8	23	84,08	101,28
9	5	0,00	13,46
9	73	13,46	26,86
9	27	26,86	40,26
9	21	40,26	53,66
9	61	53,66	67,12
9	4	67,12	80,58
9	22	80,58	94,04
9	1	94,04	107,50
9	68	107,50	120,96
10	61	0,00	6,90
10	8	6,90	20,79
10	1	20,79	34,59
10	68	34,59	48,39
13	20	0,00	15,30
13	70	15,30	33,30
13	51	33,30	51,30
14	25	0,00	6,90
14	4	6,90	20,70
14	80	20,70	34,50
14	12	34,50	48,30
15	50	0,00	6,30
15	60	6,30	18,90
15	36	18,90	31,50
15	63	31,50	44,10
15	17	44,10	56,70
16	16	17,00	35,00
17	49	0,00	4,50
18	37	0,00	12,60
18	41	12,60	30,60
18	23	30,60	48,60
18	33	48,60	66,60
19	38	0,00	3,71
19	14	3,71	9,01
19	79	9,01	14,31
19	66	14,31	21,31
19	24	25,20	30,50
19	18	36,40	41,70
19	28	42,30	59,50
20	40	0,00	13,76
20	22	13,76	30,96
20	46	30,96	48,16
20	43	48,16	65,36
20	76	65,36	82,56
20	70	82,56	99,76
22	43	0,00	6,30
22	76	6,30	24,30
22	28	24,30	42,30
22	75	42,30	60,30
23	51	0,00	17,00
23	33	17,00	34,00
23	38	34,00	47,89
24	52	0,00	10,40
24	35	10,40	23,40
25	79	0,00	2,80

PT	Caixa	Hora Ini	Hora Fim
25	66	2,80	14,00
25	24	14,00	25,20
25	18	25,20	36,40
25	59	36,40	47,60
25	25	47,60	61,06
25	34	61,06	74,52
25	53	74,52	85,72
25	72	85,72	96,92
25	77	96,92	108,12
25	78	108,12	119,32
25	55	119,32	130,52
25	67	130,52	141,72
26	57	0,00	6,90
26	19	6,90	16,14
26	52	16,14	25,38
26	35	25,38	34,62
27	53	0,00	9,35
27	72	9,35	26,35
27	78	26,35	43,35
27	67	43,35	60,35
27	11	60,35	77,35
27	60	77,35	94,35
27	73	94,35	111,35
27	48	111,35	128,35
27	42	128,35	145,35
27	64	145,35	162,35
28	57	6,90	13,90
29	59	0,00	4,25
29	29	4,25	21,25
29	77	21,25	38,25
29	55	38,25	55,25
29	50	55,25	72,25
29	5	72,25	89,25
29	10	89,25	106,25
29	41	106,25	123,25
29	27	123,25	140,25
29	21	140,25	157,25
30	34	0,00	8,40
30	49	8,40	29,40
30	40	29,40	46,60
30	20	46,60	63,80
30	2	63,80	84,80
30	7	84,80	105,80
30	46	105,80	126,80
30	15	126,80	147,80
32	16	0,00	17,00
32	75	17,00	34,00
32	14	34,00	51,00
32	36	51,00	64,89
34	63	0,00	2,70
34	17	2,70	20,26
36	11	0,00	13,40
36	10	13,40	26,80
36	48	26,80	40,20
36	42	40,20	53,60
36	64	53,60	67,00
36	19	67,00	80,46
36	8	80,46	93,92
36	80	93,92	107,38
36	12	107,38	120,84

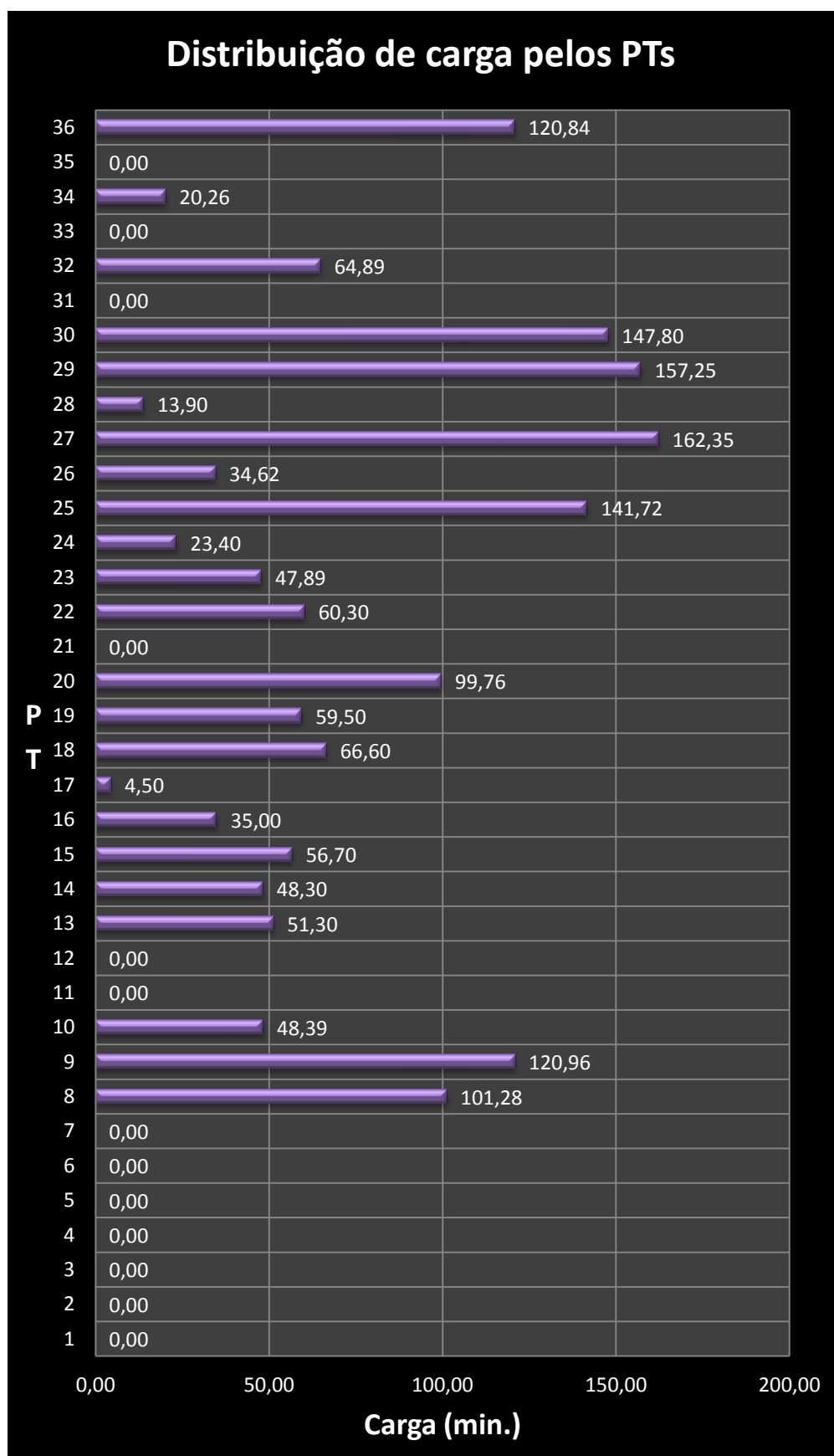


Gráfico 8 - Distribuição de cargas pelos PTs

Verifica-se que o algoritmo, além de distribuir as caixas, também efetuou um correto balanceamento, como por exemplo, no caso da primeira operação para as caixas 1, 4, 12, 68 e 80 do buffer, e caixas 8, 25, 61 dos *PTs*, que poderiam ser realizadas nos postos 10 ou 14, ficando estes com a carga de 48,39 min e 48,30 min, respetivamente. Na operação seguinte, que poderia ser realizada nos *PTs* 9 ou 36, as cargas são niveladas de 120,96 min. e 120,84 min, respetivamente..

Podemos observar que existem *PTs* à beira da rutura, tais como os *PTs*, 17, 24, 28, e 34, e outros extremamente sobrecarregados, *PTs* 9, 25, 27, 29, 30, e 36, sendo que o gargalo da produção se encontra no *PT* 27.

Verifica-se que o planeamento da Amishoes não equilibrou corretamente a secção de costura, de acordo com a *G.O.*, ou seja o número de máquinas necessárias por operação é insuficiente, para o fabrico de 68 pares/hora do modelo de calçado P02-4382.

Relativamente aos *PTs*, 1, 2, 6, e 7 que constam da *G.O.*, não temos neste momento, qualquer caixa para eles, ou seja estão parados, o que mostra também um deficiente planeamento global da empresa.

O sistema criado, é uma ferramenta de gestão que permite tomar decisões que evitem ciclos de encomenda muito alargados (sobrecarga) e por outro lado, rutura dos *PTs*, que afetam a produtividade da empresa. Permite realizar a análise dos em curso da secção precedente (corte), facilitando a reconfiguração dos *PTs*, e puxar caixas do corte, que passam a ser imediatamente afetadas.

Esta ferramenta de gestão permite que a empresa não dependa fortemente de uma ou duas pessoas (distribuidoras), pois o sistema permite que o trabalho efetuado por estas pessoas altamente especializadas, seja feito por outras com menos formação técnica, realizando assim, uma melhor gestão do pessoal, aproveitando as técnicas especializadas para outras funções dentro da empresa.

8. CONCLUSÕES

O trabalho realizado consistiu num estudo de um problema real de uma empresa de calçado que envolveu a programação da sua secção crítica, a costura, em ambiente *job shop* com máquinas multi-operação.

Inicialmente foi realizado o diagnóstico ao sistema produtivo, seguido da descrição detalhada do problema real, e desenvolveu-se uma ferramenta de programação da produção, que permite otimizar sequenciamentos de operações tendo por base o algoritmo de Giffler e Thompson em ambiente do Excel. Este algoritmo permite gerar programações de não atrasados (subconjunto das programação ativas), baseadas nas regras de prioridade, em que nenhuma operação pode ser iniciada mais cedo sem provocar um atraso noutras ou violar as restrições tecnológicas, e garantindo que nenhuma máquina fica inativa se houver um trabalho disponível para processamento

Depois da resolução do problema de teste, que foi baseado no levantamento de dados em ambiente real, considerados pela empresa como representativos da complexidade do problema, verifica-se que a ferramenta de programação da produção faz a distribuição de todas as caixas, que se encontram nos *PTs* e no *buffer* para duas operações consecutivas, mostrando grande eficiência no nivelamento das cargas, relativamente aos postos multi-operação.

Com o sistema desenvolvido, a empresa pode não só otimizar a programação da secção da costura mas também do planeamento global, melhorando assim a sua produtividade e tornando-se uma empresa mais competitiva.

Do ponto de vista de trabalhos futuros, fica a possibilidade de se fazer a ligação entre o sistema criado e o *ERP* da empresa.

Bibliografia

- Adams, J., Balas, E., & Zawack, D. (1988). *The Shifting Bottleneck Procedure for Job-Shop Scheduling*. Management Science, March, 34(3), 391-401.
- Akers, S. B. (1956). *A Graphical Approach to Production Scheduling Problems*. Operations Research, vol 4, 244-245.
- APICCAPS. (2011). *Monografia estatística*. Obtido em 2011/12/14, de <http://www.apiccaps.pt/web/guest/estatisticas>
- ATALEB. (2009). Obtido em 2011/12/12, de Constituintes do sapato: <http://ataleb.wordpress.com/2009/08/>
- Baar, T., Brucker, P., & Knust, S. (1997). *Tabu-Search Algorithms for the Resource-Constrained Project Scheduling Problem*. MIC'97 2nd International Conference on Meta-heuristics, Sophia-Antipolis, France, 21-24 July.
- Baker, K. R. (1974). *Introduction to sequencing and scheduling*. New York: John Wiley & Sons.
- Barker, J. R., & McMahon, G. B. (1985). *Scheduling the General Job-Shop*. Management Science, May, 31(5), 594-598.
- Blazewicz, J., Dror, M., & Weglarz, J. (1991). *Mathematical Programming Formulations for Machine Scheduling: A Survey*. European Journal of Operational Research, Invited Review, 51(3), April 15, 283-300.
- Blazewicz, J., Ecker, K. H., Pesch, E., Schmidt, G., & Weglarz, J. (1996). *Scheduling Computer and Manufacturing Processes*. Springer-Verlag.
- Blazewicz, J., Lenstra, J. K., & Rinooy Kan, A. H. (1983). *Scheduling Subject to Resource Constranits: Classification and Complexity*. Discrete Appl. Math., 5:11-24.
- Bowman, E. H. (1959). *The Schedule-Sequencing Problem*. Operations Research, vol 7, 621-624.
- Brown, D., Marin, J., & Scherer, W. (1995). *A survey of intelligent scheduling systems*. D.E. Brown and W.T. Scherer, pp. 1-40, (Kluwer Academic Publishers: Boston, US).
- Brucker, P. (1988). *An Efficient Algorithm for the Job-Shop Problem with Two Jobs*. Computing, vol 40, 353-359.
- Brucker, P. (2007). *Scheduling Algotithms*. New York: Springer Verlag.
- Brucker, P., & Jurisch, B. (1993). *A New Lower Bound for the Job-Shop Scheduling Problem*. European Journal of Operational Research, vol 64, 156-167.
- Brucker, P., & Krämer, A. (1995). *Shop Scheduling Problems with Multiprocessor Tasks on Dedicated Processors*. Annals of Operations Research, vol 57, 13-27.
- Brucker, P., & Neyer, J. (1997). *Tabu Search for the Multi-Mode Job-Shop Problem*. Operations Research Spektrum, vol 20, 21-28.
- Brucker, P., & Schlie, R. (1990). *Job-shop scheduling with multi-purpose machines*. Computing - Springer.
- Brucker, P., Jurisch, B., & Krämer, A. (1997). *Complexity of scheduling problems with multi-purpose machines*. Annals of Operations Research - Springer.

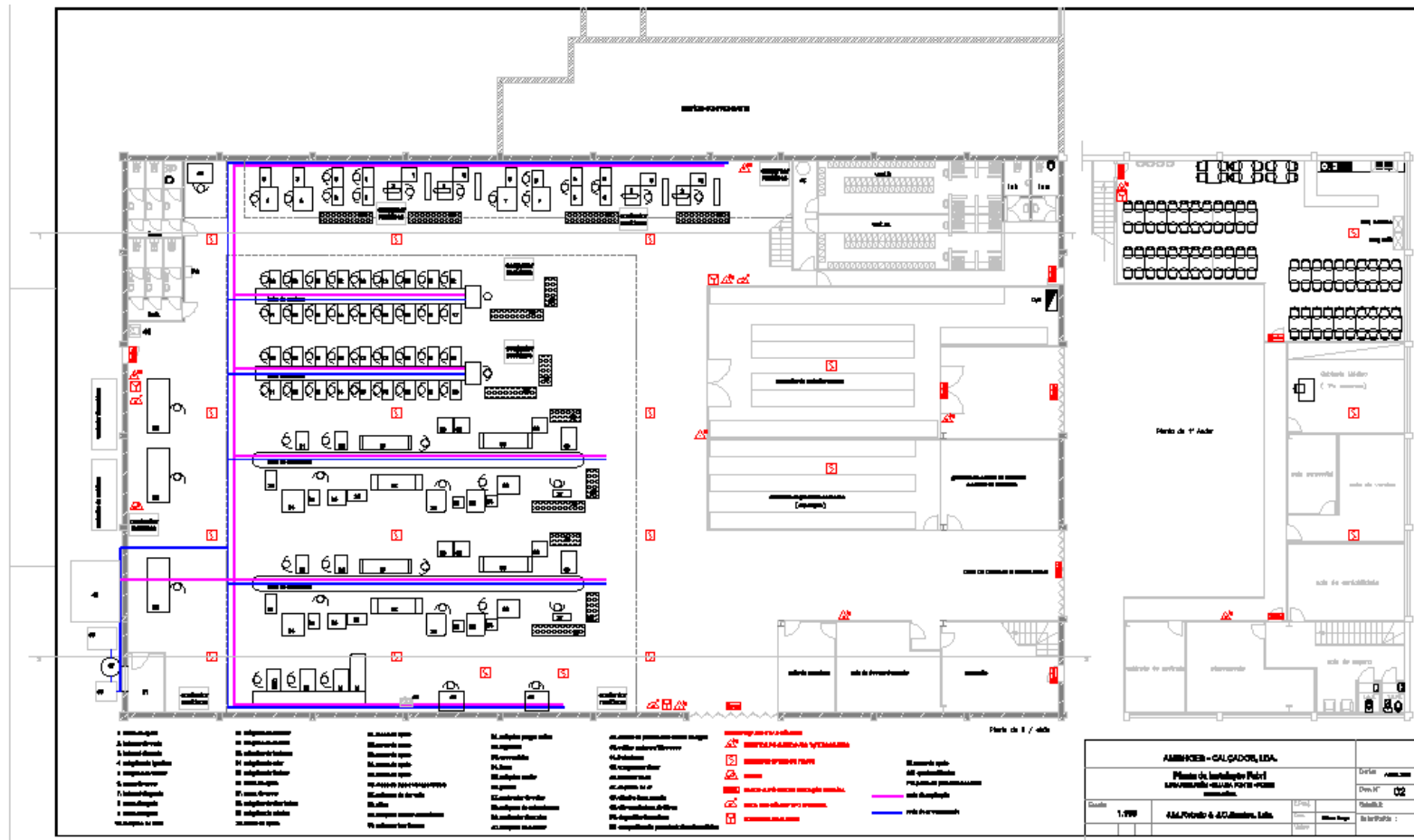
- Carlier, J. (1982). *The One-Machine Sequencing Problem*. European Journal of Operational Research, vol 11, 42-47.
- Carmo Silva, S. (1994). *Organização e Gestão da Produção*. Universidade do Minho.
- Chang, Y. L., Sueyoshi, T., & Sullivan, R. S. (1996). *Ranking Dispatching Rules by Data Envelopment Analysis in a Job-Shop Environment*. IIE Transactions, 28(8), 631-642.
- Chase, R. B., & Aquilano, N. J. (1995). *Gestão da Produção e das Operações, Perspectiva do Ciclo de Vida*. Lisboa: Monitor.
- Crowston, W. B., Glover, F., Thompson, G. L., & Trawick, J. D. (1963). *Probabilistic and Parametric Learning Combinations of Local Job-Shop Scheduling Rules*. ONR Research Memorandum, No. 117, Graduate School of Industrial Administration, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, PA 15213, USA.
- Dauzère-Pérès, S., & Paulli, J. (1997). *An Integrated Approach for Modeling and Solving the General Multiprocessor Job-Shop Scheduling Problem Using Tabu Search*. Annals of Operations Research, vol 70, 281-306.
- Demirkol, E., Mehta, S., & Uzsoy, R. (1997). *A Computational Study of Shifting Bottleneck Procedures for Shop Scheduling Problems*. Journal of Heuristics, Winter, 3(2), 111-137.
- Fisher, H., & Thompson, G. L. (1963). *Probabilistic Learning Combinations of Local Job-Shop Scheduling Rules*, in Muth, J. F. and Thompson, G. L. (eds) *Industrial Scheduling*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, Ch 15, pp. 225-251.
- Fisher, M. L., & Rinnooy Kan, A. H. (1988). *The Design, Analysis and Implementation of Heuristics*. Management Science, March, 34(3), 263-265.
- French, S. (1982). *Sequencing and Scheduling: An Introduction to the Mathematics of the Job-Shop*. New York: Ellis Horwood, Ltd., John-Wiley & Sons.
- Garey, M., Johnson, D., & Sethi, R. (1976). *The Complexity of Flowshop and Jobshop Scheduling*. Mathematics of Operations Research, v. 1, n. 2, pp. 117-129, 1976.
- Gere, W. S. (1966). *Heuristics in Job-Shop Scheduling*. Management Science, vol 13, 167-190.
- Giffler, B., & Thompson, G. L. (1960). *Algorithms for Solving Production Scheduling Problems*. Operations Research, 8(4), 487-503.
- Glover, F. (1986). *Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence*. Computers and Operations Research, 13(5), 533-549.
- Glover, F. (1977). *Heuristics for Integer Programming Using Surrogate Constraints*. Decision Sciences, 8(1), 156-166.
- Glover, F. (1989). *Tabu Search - Part I*. ORSA Journal on Computing, 1(3), Summer, 190-206.
- Glover, F. (1990). *Tabu Search - Part II*. ORSA Journal on Computing, 2(1), Winter, 4-32.
- Glover, F., & Greenberg, H. J. (1989). *New Approaches for Heuristic Search: A Bilateral Linkage with Artificial Intelligence*. European Journal of Operations Research, 39(2), 119-130.
- Glover, F., & Laguna, M. (1997). *Tabu Search*. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.
- Graham, R. L. (1966). *Bounds for Certain Multiprocessing Anomalies*. Bell System Technical Journal 45; pp. 1563-1581.

- Graham, R. L., Lawler, E. L., Lenstra, J. K., & Rinnooy Kan, A. H. (1979). *Optimization and Approximation in Deterministic Sequencing and Scheduling*. A survey. *Annals of Discrete Mathematics*, 5:287-326.
- Hoitomt, D. J., Luh, P. B., & Pattipati, K. R. (1990). *Job Shop Scheduling, First International Conference on Automation Technology*, (pp. 565-574). TAIPEI, Taiwan.
- Holtsclaw, H. H., & Uzsoy, R. (1996). *Machine Criticality Measures and Subproblem Solution Procedures in Shifting Bottleneck Methods*. A Computational Study, *Journal of the Operational Research Society*, vol 47, 666-677.
- Hurink, J., Jurisch, B., & Thole, M. (1994). *Tabu Search for the Job-Shop Scheduling Problem with Multi-Purpose Machines*. *OR-Spektrum*, vol 15, 205-215.
- Jackson, J. R. (1955). *Scheduling a Production Line to Minimise Maximum Tardiness*. Research Report 43, Management Science Research Projects, University of California, Los Angeles, USA.
- Jackson, J. R. (1957). *Simulation Research on Job-Shop Production*. *Naval Research Logistics Quarterly*, vol 4, 287-295.
- Jain, A., & Meeran, S. (1998). *A state-of-the-art review of job-shop scheduling techniques*. Technical report, University of Dundee, Scotland, UK.
- Jeremiah, B. L., Lalchandani, A., & Schrage, L. (1964). *Heuristic Rules Toward Optimal Scheduling*. Research Report, Department of Industrial Engineering, Cornell University.
- Lageweg, B. J., Lenstra, K., & Rinnooy Kan, A. H. (1977). *Job-Shop Scheduling by Implicit Enumeration*. *Management Science*, December, 24(4), 441-450.
- Laguna, M., & Glover, F. (1993). *Integrating Target Analysis and Tabu Search for Improved Scheduling Systems*. *Expert Systems with Applications*, vol 6, 287-297.
- Laguna, M., Barnes, J. W., & Glover, F. W. (1993). *Intelligent Scheduling with Tabu Search: An Application to Jobs with Linear Delay Penalties and Sequence-Dependent Setup Costs and Times*. *Journal of Applied Intelligence*, vol 3, 159-172.
- Laguna, M., Barnes, J. W., & Glover, F. W. (1991). *Tabu Search Methods for a Single Machine Scheduling Problem*. *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol 2, 63-74.
- Lawrence, S. (1984). *Supplement to Resource Constrained Project Scheduling: An Experimental Investigation of Heuristic Scheduling Techniques*. Graduate School of Industrial Administration, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, USA, October.
- Lenstra, J. K., Rinnooy Kan, A. H., & Brucker, P. (1977). *Complexity of Machine Scheduling Problems*. *Annals of Discrete Mathematics*, vol 7, 343-362.
- Manne, A. S. (1960). *On the Job-Shop Scheduling Problem*. *Operations Research*, vol 8, 219-223.
- Morton, T. E., & Pentico, D. W. (1993). *Heuristic Scheduling Systems*. Wiley Series in Engineering and Technology Management, Wiley, New York.
- Nemhauser, G. L., & Wolsey, L. A. (1988). *Integer and Combinatorial Optimisation*. John Wiley and Sons, New York.
- Panwalkar, S. S., & Iskander, W. (1977). *A Survey of Scheduling Rules*. *Operations Research*, Jan-Feb, 25(1), 45-61.
- Pinedo, M. L. (2008). *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems; Third edition*. New York: Springer Science + Business Media, cop.

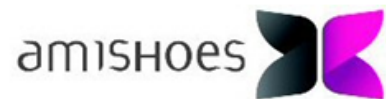
- Potts, C. N. (1980). *Analysis of a Heuristic for One Machine Sequencing with Release Dates and Delivery Times*. Operations Research, 28(6), 1436-1441.
- Reklaitis, S. (1992). *Overview of Scheduling and Planning of Batch Process Operations*. NATO Advanced Study Institute, Batch Processing Systems Engineering, Antalya, Turkey.
- Roldão, V. S., & Ribeiro, J. S. (2007). *Gestão das Operações, Uma Abordagem Integrada*. Lisboa: Monitor.
- Rowe, A. J., & Jackson, J. R. (1956). *Research Problems in Production Routing and Scheduling*. Journal of Industrial Engineering, vol 7, 116-121.
- Salvador, M. S. (1973). *A Solution of a Special Class of Flow Shop Scheduling Problems*, *Proceedings of the Symposium on the of Scheduling and its Applications*. Berlin: Springer Verlag, pp. 83-91.
- Smith, W. E. (1956). *Various Optimizers for Single Stage Production*. Naval Research Logistics Quarterly, vol 3, 59-66.
- Taillard, É. (1994). *Parallel Taboo Search Techniques for the Job-Shop Scheduling Problem*. ORSA Journal on Computing, 16(2), 108-117.
- Viviers, F. (1983). *A Decision Support System for Job-Shop Scheduling*. European Journal of Operational Research, Sept, 14(1), 95-103.

ANEXOS

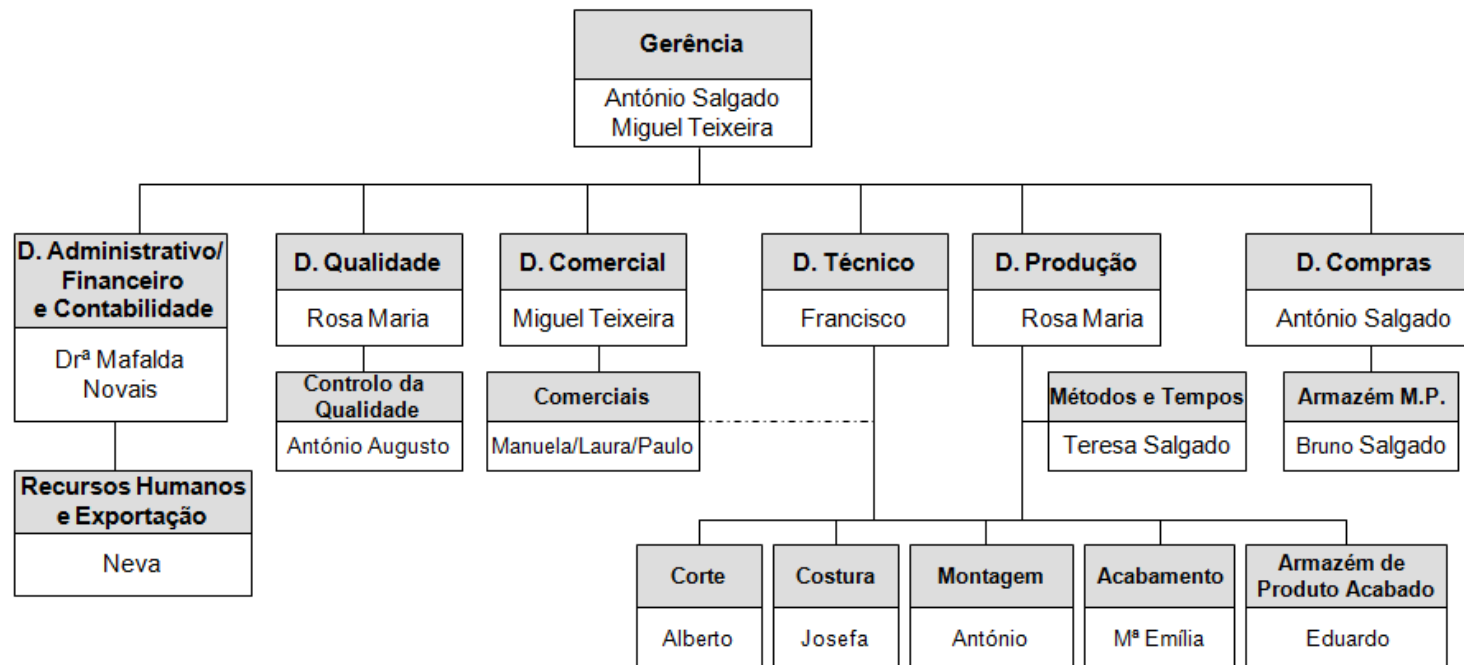
Anexo A. Layout da Amishoes



Anexo B. Organigrama da Amishoes




ORGANIGRAMA




Anexo C. Nota de encomenda

		NOTA DE ENCOMENDA		Página 1 de 7	
AMISHOES - CALÇADOS, LDA Rua da Ponte - Pav. Nº 1 e 2 4800 - 518 PONTE GMR GUIMARÃES Telef.: + 351 253 479 04 Fax: + 351 253 479 049/		Nr.Pedido 002342 Data Enco. 28-09-2009 Enco Cli Nr. 203165 Estação: V10 Moeda: EUR Data Entrega: 30-10-2009	Nome Cliente: 20053 TIGGERS GMBH Bahnhofstrasse 11 66953 Pirmasens Germany		
Cond.Pagamentos:	Transitário:	Meio Transporte:	Cond.Entrega:	Agente:	
Bank Transfer 30 Days	Transduo-Logistica e Transp.Ld	By Truck	EX-WORK		
1 P04-3320 23 Cór: BLACK Ref.Cli.: P04-3320 Cli.Desp.:		Prazo: 30-10-2009			
33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 3 6 4 3 2		Pele 1: VULCANO 7200 Pele 2: Pele 3: Forro: ANILPORCO 1014 Sola: NEOLITE 575 Forma: FORMA 0575			
47 48		Total: 18		Preços:	
Obsv.:					
2 P09-3530 05 Cór: BLACK Ref.Cli.: P09-3530 Cli.Desp.:		Prazo: 30-10-2009			
33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 1 1 3 3 2 1 1 1 1		Pele 1: VULCANO 7200 Pele 2: Pele 3: Forro: ANILPORCO 1014 Sola: NEOLITE 640 Forma: FORMA 0640			
47 48		Total: 14		Preços:	
Obsv.:					


Anexo D. Ficha técnica do produto

		AMISHOES - CALÇADOS, LDA TELEF: + 351 253 479 040 FAX: + 351 253 479 049/8	FICHA TÉCNICA	
Modelo/var.: P09-4160 / 01		Ref Cliente.: P09-4160	Data:	
Cliente: TIGGERS				
Designação: SAPATOS SENHORA / LADY SHOES TAUPE Tamanho Base: 37 Escalão: 35/ 46 Pele 1: VULCANO 5009 Sola: NEOLITE 575 Pele 2: Forma: FORMA 0575 Pele 3: Sistema: Montados Forro: ANIL.PORCO 1014 Linha: TIGGERS Obs:				
Materias - Primas				
Peça	Cod.Artigo	Designação	Cartaz/Cór	Consumo Un
Operação: CORTE				
P1 PELE 1	PL.VULC.5009	VULCANO TAUPE 5009		2,700 PE
F1 FORRO 1	FR.ANP.1014	ANILINA PORCO PISTACHO 1014		1,450 PE
PL PLANTAR	PP.LAT.3MD30	LATEX 3MM D30 AUTOCOLANTE		0,029 M2
TL TELA 1	TL.J2005B120	TELA JERSEY 120 C/ CF 2005 BRANCO		0,095 M2
TL2 TELA 2	TL.LV130	TELA LV 130		0,020 M2
TE TESTEIRA	TE.RX5951	TESTEIRA RX V-5951		0,019 M2
CF CONTRAFOR	CF.BITER 330	BITERM 330		0,036 M2
PZ PALM LIMP	FR.ANP.1014	ANILINA PORCO PISTACHO 1014		0,462 PE
TIM TIMBRE	TIMB.TIG+TI	TIMBRE TIGGERS PRATA + "TI" FOGO		1,000 PAR
VA VULC DAI LE	DE VULC 5009	VULCANO TAUPE 5009		0,308 DE

Anexo E. Vale de material

AMISHOES - CALÇADOS, LDA											Vale de Material Nº 011107				
Modelo/var.:		P09-4160 / 01			Cór:		TAUPE								
Nr.Enco.Ln.:		002342 / 29			Sola:		NEOLITE 575								
Cliente:		20053 TIGGERS GMBH			Forma:		FORMA 0575								
Ref.Cliente:		P09-4160			Sistema:		Montados								
Cliente.Desp.:					Prazo Entrega		Semana								
Enco.Cliente:		203165			30-10-2009		200944								
															
Plano: 1 / 1															
33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	Qt.Enco.	
				3	4	4	3	2						16	
47	48													Qt.Lan.	
														16	
Materias - Primas															
Operação: CORTE															
Cod.Artigo	Designação	Cartaz/Cór	DoTam-AoTam	Tam	ConsPar	Consumo	U/M	Qt.Ent.	Qt.Retorno						
PL.VULC.5009	VULCANO TAUPE 5009				3,233	51,72	PE								
FR.ANP.1014	ANILINA PORCO PISTACHO 1014				2,055	32,88	PE								
PP.LAT.3MD30	LATEX 3MM D30 AUTOCOLANTE				0,031	0,50	M2								
TL.J2005B120	TELA JERSEY 120 C/ CF 2005 BRANCO				0,102	1,63	M2								
TL.LV130	TELA LV 130				0,021	0,34	M2								
TE.RX5951	TESTEIRA RX V-5951				0,02	0,33	M2								
CF.BITER 330	BITERM 330				0,039	0,62	M2								
TIMB.TIG+TI	TIMBRE TIGGERS PRATA +TI FOGO				1	16,00	PAR								

Anexo F. Gama operatória modelo P02-4382

Referência: P02-4382					
Tempo por	25,53	Costura		25 efectivos	
Prod. diária	545			55 Pares /hora	
Vel. transport.	8,80				
Seq. oper	P.T.	Designação das operações	Tipo máquina	Tempo	Tempo 10PRS
1		CARREGAR TRANSPORTADOR	MANUAL	0,900	9,000
2	1-2	FAZER FORROS + FAZER ZIG-ZAG NOS CANOS	MQ ZIG ZAG	1,389	13,690
3	6	VULCANIZAR	MQ VULCAN.	1,321	13,210
4	7	ORLAR FORROS (ZONA DA MONTAGEM)	MQ ORLAR	0,340	3,400
5	10-14	EMENDAR VISTAS + EMENDAR VELCROS + FAZER COSTURA TALOEIRA	MQ 1AQ	1,389	13,890
6	9-36	METER GOLA + DAR CRAVADOS EM FALSO NOS CANOS	MQ 1AQ	1,346	13,460
7	27-29	METER VISTAS NOS CANOS	MQ 1AQ	1,700	17,000
8	25	METER FOLE	MQ 1AQ	1,120	11,200
9	19	FAZER "X" NA BIQUEIRA	MQ 1AQ	0,530	5,300
10	23-32	SOBREPOR CANOS + METER BIQUEIRA	MQ 1AQ	1,700	17,000
11	13-18-22	METER TALOEIRA	MQ 2AQ	1,800	18,000
12	8-20	CRAVAR TIRAS À VOLTA	MQ 2AQ	1,720	17,200
13	30	METER ARGOLAS NOS CANOS	MQ 1AQ	2,100	21,000
14	24	METER TIRAS DE VELCRO NOS CANOS	MQ 1AQ	1,300	13,000
15	26	CRAVAR O FORRO NO CANO + ESPUMA	MQ 1AQ	0,924	9,240
16	28	DAR COLA E COLAR ARGOLAS + VIRAR PRESILHA TALOEIRA	MANUAL	0,700	7,000
17	17	DAR COLA COLAR ESPUMA NA PALA E VIRAR FORRO	MANUAL	0,855	8,550
18	30-32	CRAVAR FORRO	MQ 1AQ	1,400	14,000
19	34	APARAR + APARAR TIRAS DE VELCRO	MQ APARAR	1,756	17,560
20	15	QUEIMAR LINHAS + COLAR PASSADORES	MANUAL	1,260	12,600
Total de minutos em 10 pares				25,530	255,300

Anexo G. Nota de fabrico

AMISHOES - CALÇADOS, LDA										Nota Fabri Nr: 011107				
Modelo/var.:		P09-4160 / 01		Côr:		TAUPE		 * 0 0 1 1 1 0 7 0 0 0 *						
Nr. Enco. Ln.:		002342 / 29		Sola:		NEOLITE 575								
Cliente:		20053 TIGGERS GMBH		Forma:		FORMA 0575								
Ref. Cliente:		P09-4160		Sistema:		Montados								
Cliente Desp.:				Obsv Linha de Enco:										
Enco. Cliente:		203165												
Prazo Entrega		Semana		Plano: 1 / 1										
30-10-2009		200944												
33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	Qt. Enco.
				3	4	4	3	2						16
47	48													Qt. Lan.
														16
<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>										
<u>37</u>	<u>38</u>	<u>39</u>	<u>40</u>	<u>41</u>										
3	4	4	3	2										
Materias - Primas														
Peça	Artigo	Designação	Cor	Cons/Par	Un/M	Obs								
Operação: CORTE														
PELE 1	PL.VULC.5009	VULCANO TAUPE 5009		2,700	PE									
FORRO 1	FR.ANP.1014	ANILINA PORCO PISTACHO 1014		1,450	PE									
PLANTAR	PP.LAT.3MD30	LATEX 3MM D30 AUTOCOLANTE		0,029	M2									
TELA 1	TL.J2005B120	TELA JERSEY 120 C/ CF 2005 BRANCO		0,095	M2									
TELA 2	TL.LV130	TELA LV 130		0,020	M2									
TESTEIRA	TE.RX5951	TESTEIRA RX V-5951		0,019	M2									
CONTRAFO	CF.BITER 330	BITERM 330		0,036	M2									
PALM.LIMP	FR.ANP.1014	ANILINA PORCO PISTACHO 1014		0,462	PE									
TIMBRE	TIMB.TIG+TI	TIMBRE TIGGERS PRATA + "TI" FOGO		1,000	PAR									
VIVO PALMI	PL.VULC.5009	VULCANO TAUPE 5009		0,308	PE									

Anexo H. Relatório diário de defeitos



RELATÓRIO DEFEITOS - MONTAGEM/ACAB.

Ref.^a _____ Plano: _____ Lote: _____ Data: _____

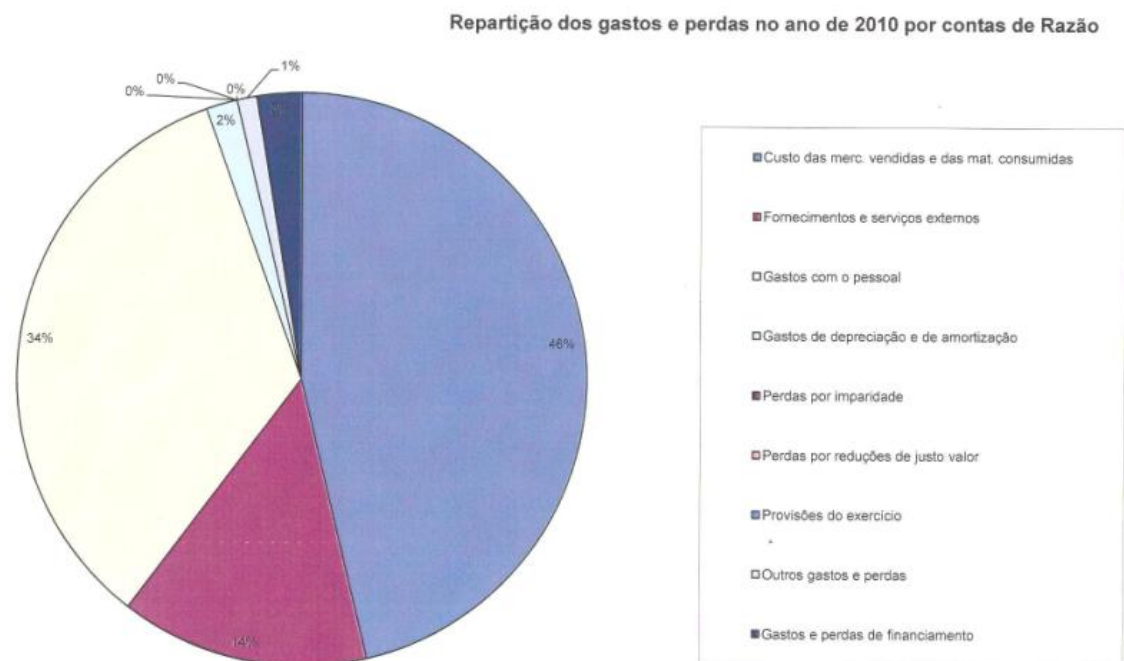
Defeitos	Nº De Sapatos c/ Defeitos
Defeito de Pelaria	
Peça mal cortada	
Faceados mal feito	
Gáspeas mal vergadas	
Peças mal riscadas	
Bordos mal pintados	
Peças estragadas faceados	
Timbres mal centrados	
Cravados tortos	
Cravados em falso	
Cravados pinchados	
Picas à vista	
Pontos cortados n/rentiado	
Bazados mal feitos	
Ilhós mal colocados	
Fechos	
Aplicaç.(Fivelas,Botões,etc)	
Tiras mal colocadas	
Oriados Mal Feitos	
Sapatos tortos	
Sapatos rebentados (bicos)	
Ferimento pele	
Solas mal apontadas	
Sapatos sujos	
Forros com rugas	
Cardados à vista	
Sapatos queimados	
Sapatos descolados	
Sapatos c/calos nos bicos	
Linhas mal aparadas	
Cravados queimados	
Outros:	
	Total:
	Total Sapatos c/ Defeitos
	Total Pares Produzidos

Gestor de Linha: _____

Anexo I. Mapa de posição das ordens de fabrico

AMISHOES - CALÇADOS, LDA													
Mapa de Posição das O.Fabrico que Falta Executar por Fase Fabrico / Cliente						Corte	Costura	Pré-Produt	Montagem	Acabamento			
O.Fab	Nr.Enco	Modelo/var	Côr	Sem.	QtLan								Qt.EA
Cliente: 10020 DiAx-Comercio Intern.de Calçado,Lda													
015244	003105	7 P10-5542	01	DENIM/TABACCO	201203	240							
015245	003105	7 P10-5542	01	DENIM/TABACCO	201203	250							
015246	003105	7 P10-5542	01	DENIM/TABACCO	201203	250							
015247	003105	7 P10-5542	01	DENIM/TABACCO	201203	178							
015248	003105	8 P10-5542	02	CACAO/TUNDRA	201203	240							
015249	003105	8 P10-5542	02	CACAO/TUNDRA	201203	250							
015250	003105	8 P10-5542	02	CACAO/TUNDRA	201203	230							
015251	003105	8 P10-5542	02	CACAO/TUNDRA	201203	198							
015252	003105	6 P10-5542	03	NAVY/TABACCO	201203	240							
015253	003105	6 P10-5542	03	NAVY/TABACCO	201203	240							
015254	003105	6 P10-5542	03	NAVY/TABACCO	201203	250							
015255	003105	6 P10-5542	03	NAVY/TABACCO	201203	188							
015256	003105	9 P10-5542	04	BLA/TUN/DEN/TAB	201203	240							
015257	003105	9 P10-5542	04	BLA/TUN/DEN/TAB	201203	240							
015258	003105	9 P10-5542	04	BLA/TUN/DEN/TAB	201203	196							
015259	003105	9 P10-5542	04	BLA/TUN/DEN/TAB	201203	64							
015260	003105	10 P10-5542	05	BLA/CUO/ROJ	201203	240							
015261	003105	10 P10-5542	05	BLA/CUO/ROJ	201203	240							
015262	003105	10 P10-5542	05	BLA/CUO/ROJ	201203	208							
015263	003105	10 P10-5542	05	BLA/CUO/ROJ	201203	52							
Total Cliente:						4234	0	0	0	0	0	0	0

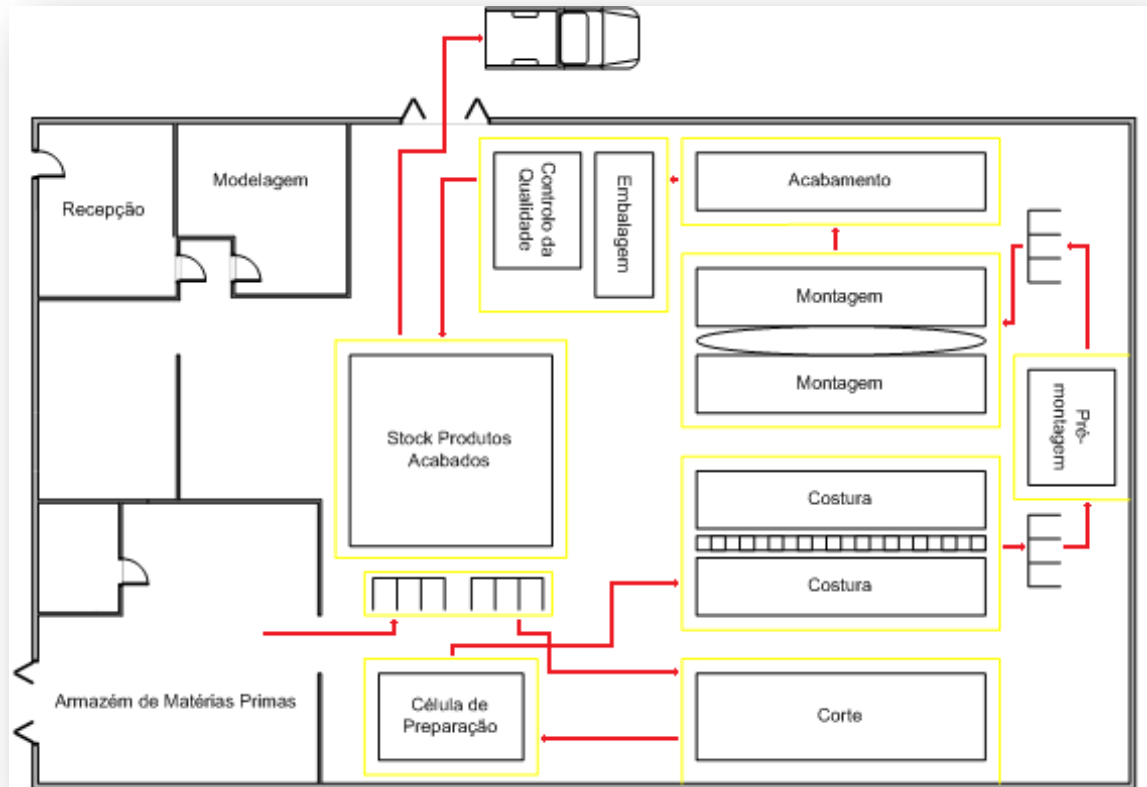
Anexo J. A estrutura de custos da empresa



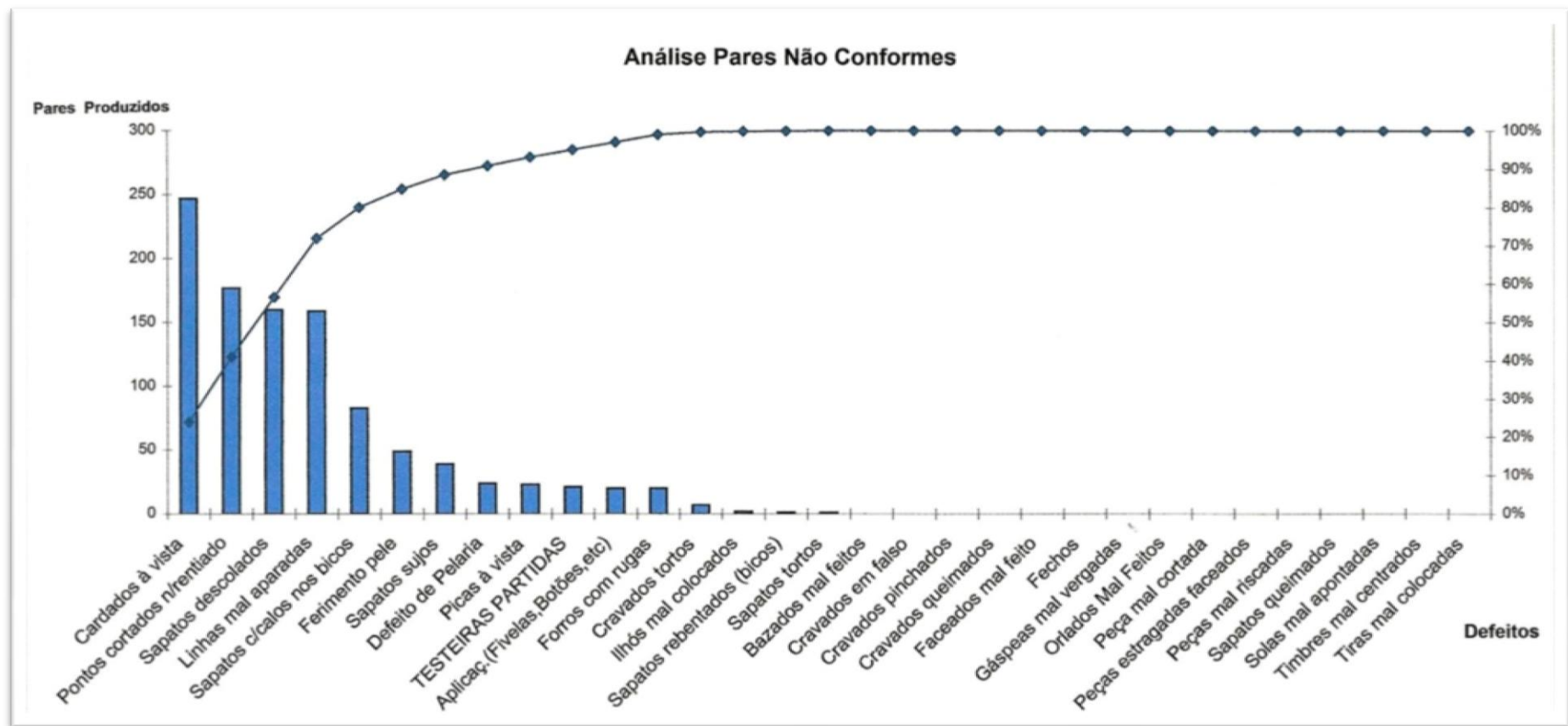
Anexo K. Análise SWOT



Anexo L. Layout com fluxo de produção



Anexo M. Diagrama de Pareto para defeitos



Anexo N. Algoritmo em Visual Basic

Neste anexo, é apresentado todo o algoritmo desenvolvido. O trabalho foi desenvolvido na plataforma Visual Basic – Excel.

```
Sub FE ( )
```

```
' FE Macro
```

```
,
```

```
,
```

```
Dim i, j, ife, iventos, iventor, ipt, ipt2, iptev, icx, icxev, istat, iprio, icx2 As Integer
```

```
Dim MatEventos(200, 3) As Single
```

```
Dim stempo, stempo2, stempo3, stempoev As Single
```

```
Sheets("FilaEspera").Select
```

```
Call LimparFE
```

```
Sheets("ListaEventos").Select
```

```
Call LimparLE
```

```
Sheets("Stat").Select ' *** Estatísticas ***
```

```
Call LimparStat
```

```
' Inicializar a FilaEspera
```

```
ife = 2 ' contador de linhas
```

```
For i = 3 To 102 ' Cxs
```

```
    Sheets("BUFFER").Select
```

```
    stempo = Cells(i, 7) ' Tempo
```

```
    iprio = Cells(i, 16) ' Prioridade
```

```
    j = 2
```

```
    While Cells(i, j) > 0
```

```
        ipt = Cells(i, j) ' PTj
```

```
        Sheets("FilaEspera").Select
```

```
        Cells(ife, 1) = ipt ' PT
```

```

Cells(ife, 2) = i - 2 ' cx
Cells(ife, 3) = stempo ' tempo
Cells(ife, 4) = 0 ' rd
Cells(ife, 5) = iprio ' prioridade
Cells(ife, 6) = 1 ' PT2
ife = ife + 1
j = j + 1
Sheets("BUFFER").Select
Wend
Next i
' Inicializar a Lista de Eventos
iventos = 2 ' contador de eventos
istat = 2
For i = 4 To 39 ' PTs
    Sheets("PTs").Select
    If (Cells(i, 3) > 0) Then ' cx baixo
        ipt = Cells(i, 2) ' PT
        icx = Cells(i, 3) ' cx
        stempo = Cells(i, 4) ' Tempo
        Sheets("Stat").Select ' *** Estatísticas ***
        Cells(istat, 1) = ipt
        Cells(istat, 2) = icx
        Cells(istat, 3) = 0 ' Hora inicio
        Cells(istat, 4) = stempo ' Hora fim
        istat = istat + 1
        iptev = ipt
        icxev = icx
        stempoev = stempo
    End If
Next i
' Vai ao Buffer selecionar o proximo PT da Cx
Sheets("BUFFER").Select
icx2 = icx + 2
j = 8
stempo2 = Cells(icx2, 13) ' Tempo

```

iprio = Cells(icx2, 16) ' Prioridade

While Cells(icx2, j) > 0

 ipt = Cells(icx2, j) ' PTj

 Sheets("FilaEspera").Select

 Cells(ife, 1) = ipt ' PT

 Cells(ife, 2) = icx ' cx

 Cells(ife, 3) = stempo2 ' tempo

 Cells(ife, 4) = stempo ' rd

 Cells(ife, 5) = iprio ' prioridade

 Cells(ife, 6) = 2 ' PT2

 ife = ife + 1

 j = j + 1

 Sheets("BUFFER").Select

Wend

stempo2 = stempo

Sheets("PTs").Select

If (Cells(i, 5) > 0) Then ' cx cima

 ipt = Cells(i, 2) ' PT

 icx = Cells(i, 5) ' Cx

 stempo2 = stempo + Cells(i, 6) ' Tempo

 Sheets("Stat").Select ' *** Estatísticas ***

 Cells(istat, 1) = ipt

 Cells(istat, 2) = icx

 Cells(istat, 3) = stempo

 Cells(istat, 4) = stempo2

 istat = istat + 1

iptev = ipt

icxev = icx

stempo2ev = stempo2

' Vai ao Buffer selecionar o proximo PT da Cx


```

Sheets("BUFFER").Select
icx2 = icx + 2
j = 8
stempo3 = Cells(icx2, 13) ' Tempo
iprio = Cells(icx2, 16) ' Prioridade

```

```

While Cells(icx2, j) > 0
    ipt = Cells(icx2, j) ' PTj
    Sheets("FilaEspera").Select
    Cells(ife, 1) = ipt ' PT
    Cells(ife, 2) = icx ' cx
    Cells(ife, 3) = stempo3 ' tempo
    Cells(ife, 4) = stempo2 ' rd
    Cells(ife, 5) = iprio ' prioridade
    Cells(ife, 6) = 2 ' PT2
    ife = ife + 1
    j = j + 1
    Sheets("BUFFER").Select
Wend

```

End If

```

Sheets("ListaEventos").Select
Cells(iventos, 1) = stempo3
Cells(iventos, 2) = iptev
Cells(iventos, 3) = icxev
Cells(iventos, 4) = 0
iventos = iventos + 1

```

End If

Next i

```

Sheets("FilaEspera").Select

```

```

Call OrdFE
Sheets("ListaEventos").Select
Call OrdLE

```

```

' CARREGAR PTs VAZIOS

```

```

For i = 4 To 39 ' PTs

```

```

    Sheets("PTs").Select

```

```

    If (Cells(i, 3) = 0) Then

```

```

        ipt = i - 3

```

```

        Sheets("FilaEspera").Select

```

```

        j = 2

```

```

        While (Cells(j, 1) < ipt)

```

```

            j = j + 1

```

```

        Wend

```

```

    If (Cells(j, 1) = ipt) Then ' Carrega o PT

```

```

        icx = Cells(j, 2) ' cx

```

```

        stempo = Cells(j, 3) ' Tempo

```

```

        stempo2 = Cells(j, 4) ' rd

```

```

        ipt2 = Cells(j, 6)

```

```

        Sheets("ListaEventos").Select

```

```

        Cells(ivalentos, 1) = stempo2 + stempo

```

```

        Cells(ivalentos, 2) = ipt

```

```

        Cells(ivalentos, 3) = icx

```

```

    '        Cells(ivalentos, 4) = 0

```

```

    ivalentos = ivalentos + 1

```

```

    Sheets("Stat").Select ' *** Estatísticas ***

```

```

    Cells(istat, 1) = ipt

```

```

    Cells(istat, 2) = icx

```

```

    Cells(istat, 3) = stempo2 ' Hora inicio

```

```

    Cells(istat, 4) = stempo2 + stempo ' Hora fim

```

```

    istat = istat + 1

```

```

' Atualiza FE
Sheets("FilaEspera").Select
j = 2
While (Cells(j, 1) > 0)
    If icx = Cells(j, 2) Then ' remove a cx da FE
        Cells(j, 1) = "" ' PT
        Cells(j, 2) = "" ' cx
        Cells(j, 3) = "" ' tempo
        Cells(j, 4) = "" ' rd
        Cells(j, 5) = "" ' prioridade
        Cells(j, 6) = "" ' PT2
    End If
    j = j + 1
Wend

If ipt2 = 1 Then

    ' Vai ao Buffer selecionar o proximo PT da Cx
    Sheets("BUFFER").Select
    icx2 = icx + 2
    j = 8
    stempo3 = Cells(icx2, 13) ' Tempo
    iprio = Cells(icx2, 16) ' Prioridade

    While Cells(icx2, j) > 0
        ipt = Cells(icx2, j) ' PTj
        Sheets("FilaEspera").Select
        Cells(ife, 1) = ipt ' PT
        Cells(ife, 2) = icx ' cx
        Cells(ife, 3) = stempo3 ' tempo
        Cells(ife, 4) = stempo2 + stempo ' rd
        Cells(ife, 5) = iprio ' prioridade
        Cells(ife, 6) = 2 ' PT2
        ife = ife + 1
    End While

```

```

        j = j + 1
        Sheets("BUFFER").Select
    Wend
End If

    Sheets("FilaEspera").Select
    Call OrdFE
End If
End If
Next i

```

```

Sheets("FilaEspera").Select
Call OrdFE
Sheets("ListaEventos").Select
Call OrdLE

```

' SUBROTINA DE EVENTOS

```

Sheets("ListaEventos").Select
ipt = Cells(2, 2)
While ipt > 0
    stempo3 = Cells(2, 1)
    ipt = Cells(2, 2)

```

```

' Atualiza LE
Cells(2, 1) = ""
Cells(2, 2) = ""
Cells(2, 3) = ""

```

```

Sheets("FilaEspera").Select
j = 2
ipt2 = Cells(j, 1)
If ipt2 > 0 Then
    While (Cells(j, 1) < ipt)
        j = j + 1
    
```

```

Wend
End If
If (Cells(j, 1) = ipt) Then ' Carrega o PT
    icx = Cells(j, 2) ' cx
    stempo = Cells(j, 3) ' Tempo
    stempo2 = Cells(j, 4) ' rd
    ipt2 = Cells(j, 6)
    If stempo2 < stempo3 Then stempo2 = stempo3

    Sheets("ListaEventos").Select
    Cells(iventos, 1) = stempo2 + stempo
    Cells(iventos, 2) = ipt
    Cells(iventos, 3) = icx
    '    Cells(iventos, 4) = 0
    '    iventos = iventos + 1

    Sheets("Stat").Select ' *** Estatísticas ***
    Cells(istat, 1) = ipt
    Cells(istat, 2) = icx
    Cells(istat, 3) = stempo2 ' Hora inicio
    Cells(istat, 4) = stempo2 + stempo ' Hora fim
    istat = istat + 1

    ' Atualiza FE
    Sheets("FilaEspera").Select
    j = 2
    While (Cells(j, 1) > 0)
        If icx = Cells(j, 2) Then ' remove a cx da FE
            Cells(j, 1) = "" ' PT
            Cells(j, 2) = "" ' cx
            Cells(j, 3) = "" ' tempo
            Cells(j, 4) = "" ' rd
            Cells(j, 5) = "" ' prioridade
            Cells(j, 6) = "" ' PT2

```

```

End If
j = j + 1
Wend

```

```

If ipt2 = 1 Then
' Vai ao Buffer selecionar o proximo PT da Cx
Sheets("BUFFER").Select
icx2 = icx + 2
j = 8
stempo3 = Cells(icx2, 13) ' Tempo
iprio = Cells(icx2, 16) ' Prioridade

```

```

While Cells(icx2, j) > 0
ipt = Cells(icx2, j) ' PTj
Sheets("FilaEspera").Select
Cells(ife, 1) = ipt ' PT
Cells(ife, 2) = icx ' cx
Cells(ife, 3) = stempo3 ' tempo
Cells(ife, 4) = stempo2 + stempo ' rd
Cells(ife, 5) = iprio ' prioridade
Cells(ife, 6) = 2 ' PT2
ife = ife + 1
j = j + 1
Sheets("BUFFER").Select
Wend

```

```

End If

```

```

Sheets("FilaEspera").Select
Call OrdFE

```

```

End If
Sheets("FilaEspera").Select
Call OrdFE

```

```

    Sheets("ListaEventos").Select
    Call OrdLE

    ipt = Cells(2, 2)

Wend

End Sub

Sub LimparFE ( )
'
' LimparFE Macro
' Limpar a Fila de Espera
'
    Range("A2:F500").Select
    Selection.ClearContents

End Sub

Sub OrdLE()
'
' OrdLE Macro
' Ordenação da Lista de Eventos
'
'
    ActiveWorkbook.Worksheets("ListaEventos").Sort.SortFields.Clear
    ActiveWorkbook.Worksheets("ListaEventos").Sort.SortFields.Add Key:=Range( _
        "A2:A500"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
        xlSortNormal
    With ActiveWorkbook.Worksheets("ListaEventos").Sort
        .SetRange Range("A1:C500")
        .Header = xlYes
        .MatchCase = False
        .Orientation = xlTopToBottom
        .SortMethod = xlPinYin
    End With

```

```
        .Apply  
    End With  
End Sub
```

```
Sub LimparLE ()  
,  
  
' LimparLE Macro  
' Limpar a Lista de Eventos  
,  
  
    Range("A2:C500").Select  
    Selection.ClearContents  
  
End Sub
```

```
Sub LimparStat ()  
,  
  
' LimparLE Macro  
' Limpar a Lista de Eventos  
,  
  
    Range("A2:D500").Select  
    Selection.ClearContents  
  
End Sub
```

```
Sub OrdFE ()  
,  
  
' OrdFE Macro  
,  
  
,  
  
    ActiveWorkbook.Worksheets("FilaEspera").Sort.SortFields.Clear  
    ActiveWorkbook.Worksheets("FilaEspera").Sort.SortFields.Add Key:=Range( _  
        "A2:A638"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _  
        xlSortNormal
```



```

ActiveWorkbook.Worksheets("FilaEspera").Sort.SortFields.Add Key:=Range( _
    "D2:D638"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
ActiveWorkbook.Worksheets("FilaEspera").Sort.SortFields.Add Key:=Range( _
    "E2:E638"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("FilaEspera").Sort
    .SetRange Range("A1:F638")
    .Header = xlYes
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With
End Sub

```

